



SKRIPSI - TK 141581

**SIMULASI DINAMIKA PARTIKEL DALAM
ROTARY DRUM MIXER BERBASIS KOMPUTASI
DINAMIKA FLUIDA (KDF)**

Oleh :

ICHSAN DWI NUGRAHA

NRP 02211440000068

M. REINALDO ONGKY BILLY ANANDO

NRP 02211440000096

Dosen Pembimbing

Dr. Tantular Nurtono, S.T., M.Eng.

Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018



SKRIPSI – TK 141581

**SIMULASI DINAMIKA PARTIKEL DALAM
ROTARY DRUM MIXER BERBASIS KOMPUTASI
DINAMIKA FLUIDA (KDF)**

Oleh:

Ichsan Dwi Nugraha

NRP. 02211440000068

M. Reinaldo Ongky Billy Anando

NRP. 02211440000096

Dosen Pembimbing

Dr. Tantular Nurtono, S. T., M. Eng.

NIP. 19720520 199702 1 001

Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M. Eng.

NIP. 19520916 198003 1 002

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



FINAL PROJECT – TK 141581

**SIMULATION OF PARTICLE DYNAMICS IN A
ROTARY DRUM MIXER BASED ON
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)**

By :

Ichsan Dwi Nugraha

NRP. 02211440000068

M. Reinaldo Ongky Billy Anando

NRP. 02211440000096

Supervisor :

Dr. Tantular Nurtono, S. T., M. Eng.

NIP. 19720520 199702 1 001

Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M. Eng.

NIP. 19520916 198003 1 002

**CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

SIMULASI DINAMIKA PARTIKEL DALAM ROTARY DRUM MIXER BERBASIS KOMPUTASI DINAMIKA FLUIDA (KDF)

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik Kimia pada Program Studi S-1
Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

Ichsan Dwi Nugraha

02211440000068

M. Reinaldo Ongky Billy A.

02211440000096

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Tantular Nurtono, S.T., M. Eng.
(Pembimbing I)
2. Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng.
(Pembimbing II)
3. Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M. Sc.
(Penguji I)
4. Dr. Siti Machmudah, S.T., M. Eng.
(Penguji II)



**SURABAYA
JULI 2018**

SIMULASI DINAMIKA PARTIKEL DALAM ROTARY DRUM MIXER BERBASIS KOMPUTASI DINAMIKA FLUIDA (KDF)

Nama : Ichsan Dwi Nugraha 02211440000068
M. Reinaldo O. B. A. 02211440000096
Dosen Pembimbing : Dr. Tantular Nurtono, S.T., M.Eng.
Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng.

ABSTRAK

Simulasi tiga dimensi KDF bertujuan untuk mengkaji dinamika partikel dari pengaruh perbedaan diameter dan densitas terhadap distribusi partikel dalam rotary drum mixer dengan menggunakan simulasi numerik secara Komputasi Dinamika Fluida (KDF) menggunakan FLUENT. Simulasi berbasis KDF dengan model Eulerian memakai dimensi rotary drum mixer yang digunakan pada penelitian ini didasarkan pada penelitian Santos (2016) yang berbentuk silinder panjang 0.5 m dan diameter 0.22 m. Bahan yang digunakan yaitu glassbeads dan soybean yang berkonfigurasi perbedaan diameter 6.35 dan 1.13 mm, perbedaan densitas 2460 dan 1164 kg/m³, dan setiap variabel dilakukan simulasi menggunakan filling degree 50% dan 25% serta variasi kecepatan putar 0.59, 1.10, dan 1.77 rad/s. Hasil simulasi menunjukkan pada diameter yang berbeda bahwa partikel berdiameter lebih besar akan cenderung menempati bagian dasar dari rotary drum, sedangkan partikel berukuran lebih kecil cenderung menempati bagian tengah rotary drum. Pada densitas yang berbeda tidak memberikan pengaruh yang signifikan dalam distribusi partikel. Hasil simulasi

menunjukkan hasil yang mendekati dengan hasil secara eksperimen.

Kata kunci : Distribusi Partikel, KDF, Rotary Drum Mixer

SIMULATION OF PARTICLE DYNAMICS IN A ROTARY DRUM MIXER BASED ON COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)

Name : Ichsan Dwi Nugraha 02211440000068
M. Reinaldo O. B. A. 02211440000096
Advisor : Dr. Tantular Nurtono, S.T., M.Eng.
Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng.

ABSTRACT

Three dimensional CFD simulations were performed to assess the particle dynamics of the impact of particle diameter and density on particle distribution in the rotary drum mixer based on CFD numerical simulation using FLUENT. CFD-based simulations with Eulerian model used rotary drum mixer dimension based on the previous experimental and simulation research of Santos (2016), a cylinder with 0.5 m length and inner diameter of 0.22m. The materials used are glassbeads and soybean with the effect of diameter difference of 6.35 mm and 1.13 mm, the effect of density difference of 2460 and 1164 kg/m³, and each of those effects are done using filling degree of 50% and 25% with various kind of rotational velocity of 0.59, 1.10, and 1.77 rad/s. The results of this simulations show that particles with larger diameter will sink towards the bottom of the rotary drum, whereas particles with smaller size on the rotary drum will tend to concentrate in the middle of the rotary drum. The effect of density does not have a significant impact on the particle distribution. The simulation predictions showed

approximate similarly results when compared with the experimental observations.

Keyword : CFD, Particle Distribution, Rotary Drum Mixer

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kepada Tuhan YME karena atas rahmat dan karunia-Nya kami dapat melaksanakan Tugas Laporan Skripsi yang berjudul:

“SIMULASI DINAMIKA PARTIKEL DALAM ROTARY DRUM MIXER BERBASIS KOMPUTASI DINAMIKA FLUIDA (KDF)”

Sehingga kami menyelesaikan laporan ini tepat pada waktunya. Tugas Akhir ini merupakan syarat kelulusan bagi mahasiswa tahap sarjana di Departemen Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.

Selama penyusunan laporan ini, kami banyak sekali mendapat bimbingan, dorongan, serta bantuan dari banyak pihak. Untuk itu, kami ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua serta seluruh keluarga kami atas doa, dukungan, bimbingan, perhatian dan kasih sayang yang selalu tercurah selama ini.
2. Bapak Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.
3. Bapak Dr. Tantular Nurtono, S. T., M. Eng. selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dan membantu kami
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M. Eng., selaku Dosen Pembimbing dan Kepala Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran, atas bimbingan dan saran yang telah diberikan.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.Sc. dan Ibu Dr. Siti Machmudah, S.T., M.Eng., selaku dosen penguji Seminar Proposal, Ujian *Poster Paper*, dan Seminar Skripsi
6. Bapak Ir. Ignatius Gunardi, M.T. selaku dosen penguji Ujian *Poster Paper*.

7. Bapak Dr. Kusdianto, S.T., M.Sc.Eng. dan Ibu Dr. Suci Madha Nia, S.T., M.T. selaku dosen kami di Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran.
8. Bang Farid selaku Laboran Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran.
9. Bapak dan Ibu Dosen Pengajar serta seluruh karyawan Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS dan rekan – rekan dari Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran, Angkatan 2014 (K54), serta semua pihak yang telah membantu penyelesaian penelitian ini, yang tidak dapat kami sebutkan satu-persatu.

Kami menyadari bahwa penulisan laporan ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna, oleh karena itu kami sangat mengharapkan saran dan masukan yang konstruktif demi kesempurnaan laporan ini.

Surabaya, 25 Juli 2018

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah.....	2
I.3 Batasan Masalah	3
I.4 Tujuan Penelitian	5
I.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Arah Aliran Partikel	7
II.2 Proses Pencampuran.....	11
II.3 <i>Rotary Drum Mixer</i>	12
II.4 Komputasi Dinamika Fluida.....	13
II.5 Penelitian Terdahulu.....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
III.1 Sistem yang Dipelajari	21
III.2 Prosedur Simulasi KDF.....	23
III.3 Variabel Percobaan	28
III.4 Kondisi Batas	29
III.5 Bidang Pengamatan.....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.1 Karakteristik Distribusi Partikel dalam <i>Rotary Drum Granulator</i> pada Sistem <i>Monodisperse</i>	32
IV.2 Pengaruh Perbedaan Diameter terhadap Distribusi Partikel dalam <i>Rotary Drum Granulator</i>	37
IV.3 Pengaruh Perbedaan Densitas terhadap Distribusi Partikel dalam <i>Rotary Drum Granulator</i>	44

IV.4 Validasi Hasil Simulasi dengan Eksperimen	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1 Kesimpulan	59
V.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	xv
DAFTAR NOTASI	xix
LAMPIRAN	xxi

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1 Kondisi Awal Bahan dengan <i>side-side loading</i>	4
Gambar II.1 Arah Aliran sebagai Fungsi dari Kondisi Operasional	7
Gambar II.2 Pembagian Layer Aktif dan Pasif dalam Rotary Drum	8
Gambar II.3 Mode <i>Slipping</i>	8
Gambar II.4 Mode <i>Slumping</i>	9
Gambar II.5 Mode <i>Rolling</i>	9
Gambar II.6 Mode <i>Cascading</i>	10
Gambar II.7 Mode <i>Cataracting</i>	10
Gambar II.8 Mode <i>Centrifuging</i>	11
Gambar II.9 Sketsa Alat <i>Rotary Drum Mixer</i>	12
Gambar II.10 <i>Rotary Drum Mixer</i>	13
Gambar III.1 Dimensi <i>Rotary Drum Mixer</i>	21
Gambar III.2 Geometri <i>Rotary Drum Mixer</i> Tampak Depan	22
Gambar III.3 Geometri <i>Rotary Drum Mixer</i> Tampak Samping	22
Gambar III.4 Geometri <i>Rotary Drum Mixer</i> Tampak Samping	23
Gambar III.5 <i>Meshing Rotary Drum Mixer</i> Tampak Depan	24
Gambar III.6 <i>Meshing Rotary Drum Mixer</i> Tampak Samping	24
Gambar IV.1 Kondisi Kontur Awal pada <i>Rotary Drum Mixer</i>	31
Gambar IV.2 Distribusi Partikel Sistem <i>Glassbeads-Glassbeads</i> (Monodisperse) dengan <i>filling degree</i> 50% dan Kecepatan Putar (a) 1.77 rad/s; (b) 1.10 rad/s; (c) 0.59 rad/s	33
Gambar IV.3 Distribusi Partikel Sistem <i>Glassbeads-Glassbeads</i> (Monodisperse) dengan <i>filling degree</i> 25% dan Kecepatan Putar (a) 1.77 rad/s; (b) 1.10 rad/s; (c) 0.59 rad/s	35

Gambar IV.4	Distribusi Partikel Sistem <i>Glassbeads-Glassbeads</i> (Kiri: $d = 6.35$ mm; Kanan: $d = 1.13$ mm) dengan <i>filling degree</i> 50% dan Kecepatan Putar (a) 1.77 rad/s; (b) 1.10 rad/s; (c) 0.59 rad/s	38
Gambar IV.5	Distribusi Partikel Sistem <i>Glassbeads-Glassbeads</i> (Kiri: $d = 6.35$ mm; Kanan: $d = 1.13$ mm) dengan <i>filling degree</i> 25% dan Kecepatan Putar (a) 1.77 rad/s; (b) 1.10 rad/s; (c) 0.59 rad/s	41
Gambar IV.6	Distribusi Partikel Sistem <i>Glassbeads-Soybean</i> (Kiri: $\rho = 2460$ kg/m ³ ; Kanan: $d = \rho = 1164$ kg/m ³) dengan <i>filling degree</i> 50% dan Kecepatan Putar (a) 1.77 rad/s; (b) 1.10 rad/s; (c) 0.59 rad/s	45
Gambar IV.7	Distribusi Partikel Sistem <i>Glassbeads-Soybean</i> (Kiri: $\rho = 2460$ kg/m ³ ; Kanan: $d = \rho = 1164$ kg/m ³) dengan <i>filling degree</i> 25% dan Kecepatan Putar (a) 1.77 rad/s; (b) 1.10 rad/s; (c) 0.59 rad/s	48
Gambar IV.8	Validasi Eksperimen dengan Simulasi pada Sistem <i>Glassbeads-Glassbeads</i> Monodisperse dengan <i>filling degree</i> 50% ((a) Hasil Eksperimen (Hitam = <i>Glassbeads</i> ; Putih = <i>Glassbeads</i>); (b) Distribusi Partikel <i>Glassbeads</i> hitam; (c) Distribusi Partikel <i>Glassbeads</i> putih	52
Gambar IV.9	Validasi Eksperimen dengan Simulasi pada Sistem <i>Glassbeads-Glassbeads</i> Monodisperse dengan <i>filling degree</i> 25% (a) Hasil Eksperimen (Hitam = <i>Glassbeads</i> ; Putih = <i>Glassbeads</i>); (b) Distribusi Partikel <i>Glassbeads</i> hitam; (c) Distribusi Partikel <i>Glassbeads</i> putih	53
Gambar IV.10	Validasi Eksperimen dengan Simulasi pada Sistem <i>Glassbeads-Glassbeads</i> dengan <i>filling degree</i> 50% (a) Hasil Eksperimen (Hitam: <i>Glassbeads</i> $d = 6.35$ mm; Putih: <i>Glassbeads</i> $d = 1.13$ mm); (b) Distribusi Partikel <i>Glassbeads</i> $d = 6.35$ mm; (c) Distribusi Partikel <i>Glassbeads</i> $d = 1.13$ mm	54

- Gambar IV.11** Validasi Eksperimen dengan Simulasi pada Sistem *Glassbeads-Glassbeads* dengan *filling degree* 25% % (a) Hasil Eksperimen (Hitam: *Glassbeads* $d = 6.35$ mm; Putih: *Glassbeads* $d = 1.13$ mm); (b) Distribusi Partikel *Glassbeads* $d = 6.35$ mm; (c) Distribusi Partikel *Glassbeads* $d = 1.13$ mm.....55
- Gambar IV.12** Validasi Eksperimen dengan Simulasi pada Sistem *Glassbeads-Soybean* dengan *filling degree* 50% (a) Hasil Eksperimen (Hitam: *Glassbeads*; Kuning: *Soybean*); (b) Distribusi Partikel *Glassbeads*; (c) Distribusi Partikel *Soybean*56
- Gambar IV.13** Validasi Eksperimen dengan Simulasi pada Sistem *Glassbeads-Soybean* dengan *filling degree* 25% % (a) Hasil Eksperimen (Hitam: *Glassbeads*; Kuning: *Soybean*); (b) Distribusi Partikel *Glassbeads*; (c) Distribusi Partikel *Soybean*57

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel III.1	Konfigurasi Partikel pada Penelitian.....	22
Tabel III.2	Kualitas <i>Meshing</i>	24
Tabel III.3	<i>Set Up</i> yang Digunakan pada <i>Solving</i> Konfigurasi M1, M2, dan M3	25
Tabel III.4	<i>Solution</i> yang Digunakan pada <i>Solving</i> Konfigurasi M1, M2, dan M3	27

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai salah satu negara industri yang mendukung sumber daya dan kebutuhan negara dalam berbagai sektor, menjadi tumpuan untuk meningkatkan performa efektivitas produksi pabrik. Untuk mendukung hal tersebut, diperlukan berbagai proses yang harus dilakukan oleh pelaku usaha agar efektivitas produksi dapat tercapai. Proses pencampuran merupakan salah satu faktor dalam meningkatkan produktivitas produk pada pabrik. Banyak proses industri membutuhkan area kontak yang besar antar fase untuk meningkatkan transfer panas dan massa dalam proses pencampuran tersebut.

Dalam skala industri untuk proses pencampuran sendiri digunakan *rotary drum mixer* yang cocok untuk menghasilkan campuran material yang merata. Alat ini banyak digunakan dikarenakan mampu memproses berbagai macam material, namun kenyataannya efisiensi dari *rotary drum mixer* sangat bergantung pada dinamika fluida. Permasalahan segregasi sering terjadi di sebagian besar proses yang melibatkan aliran dari ukuran partikel yang berbeda. Hal ini dapat mempengaruhi secara negatif efisiensi proses yang dilakukan pada *rotary drum mixer* seperti proses pengeringan, pelapisan, pencampuran, penggilingan, dan fermentasi, karena penurunan area kontak partikel (Santos, 2016).

Menurut Wang dan Cameroon (2002), banyak pabrik yang menggunakan proses *mixing* dengan menggunakan *rotary drum mixer* menderita kerugian karena fenomena segregasi yang terjadi sehingga produk yang dihasilkan kurang sesuai dengan spesifikasi produk yang diinginkan. Proses pencampuran seperti pada pabrik pupuk dan semen, sering terjadi *loss product* akibat hasil yang tidak sesuai spek. Setiap tahunnya suatu perusahaan dapat mengalami kerugian akibat segregasi yang terjadi serta

meningkatkan biaya *maintenance* untuk *rotary drum mixer*. Hal ini berpengaruh pada sektor ekonomi pada suatu perusahaan.

Ditinjau secara teknis maupun empiris, operasi alat mempengaruhi faktor dalam permasalahan tersebut, beberapa alasan utamanya terkait dengan properti bahan baku, peralatan proses, dan masalah kontrol. Hal ini mengindikasikan adanya ketidakmerataan pencampuran yang disebabkan proses pencampuran yang kurang optimal (Valiulis, 2009).

Meskipun desainnya yang relatif sederhana, kebanyakan penelitian pada *rotary drum mixer* telah difokuskan pada perilaku aliran partikel, karena ini melibatkan partikel-partikel yang kompleks. Adanya profil fraksi didalam *rotary drum mixer* membantu untuk mengurangi adanya permasalahan tersebut dan mengetahui pencampuran yang terjadi dalam *rotary drum mixer*. Aliran partikel memainkan peran penting dalam banyak proses industri. Memahami perilaku aliran ini diperlukan untuk masalah desain dan pengoptimalan alat.

Selain menggunakan penelitian dan riset secara eksperimental, beberapa dekade terakhir berkembang penggunaan simulasi secara numerik menjadi suatu hal yang efektif untuk mengetahui fenomena yang terjadi dalam *rotary drum mixer*, contohnya untuk memprediksi perilaku aliran material dalam beberap operasi alat. Untuk permodelan aliran partikel digunakan simulasi numerik berbasis KDF yang memungkinkan untuk mengetahui distribusi partikel yang terjadi pada *rotary drum mixer*. Oleh karena itu dibutuhkan penelitian lebih lanjut mengenai distribusi partikel dalam *rotary drum mixer* sehingga dapat dilakukan penanganan dan solusi terbaik pada operasi alat tersebut. Penggunaan simulasi berbasis KDF pada penelitian ini dapat dijalankan dengan biaya yang tidak besar dan dapat diamati perkiraan pergerakan partikel yang terjadi

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh diameter partikel terhadap dinamika fluida yang terjadi pada proses pencampuran dalam *rotary drum mixer* dengan menggunakan simulasi numerik secara Komputasi Dinamika Fluida (KDF)?
2. Bagaimana pengaruh densitas partikel terhadap dinamika fluida yang terjadi pada proses pencampuran dalam *rotary drum mixer* dengan menggunakan simulasi numerik secara Komputasi Dinamika Fluida (KDF)?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Jenis bahan yang diuji

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari *glass beads 1*, *glass beads 2*, dan *soybean*. Dimana *glass beads* satu dan lainnya memiliki perbedaan pada ukuran yaitu *glass beads 1* dengan diameter 6.35 mm, *glass beads 2* dengan diameter 1.13 mm.

2. Geometri *Rotary Drum Mixer*

Pencampuran yang terjadi dalam *mixer* merupakan pencampuran antara fase gas dan fase solid. Macam *mixer* diantaranya:

- a. *Pan Mixer*

Sebuah *mixer* pengaduk gerakan paksa memiliki pisau yang dipasang pada rakitan yang mengaduk beton di seluruh panci ketika poros vertikal berputar. *Mixer* ini paling umum di mana campuran kaku atau nol kemerosotan adalah lazim. *Pan mixer* paling sering ditemukan di pabrik beton pracetak. Kapasitasnya berkisar dari 0.25 CY hingga 2,5 CY.

- b. *Continous Mixer*

Jenis *mixer* ini diumpamakan sebagai gravitasi, diklasifikasikan berdasarkan gerakan kontinyu. Dalam proses ini pengisian bahan dan pemakaian beton campuran dilepaskan dalam satu proses tanpa gangguan. *Mixer* berkelanjutan menggunakan sistem penimbangan

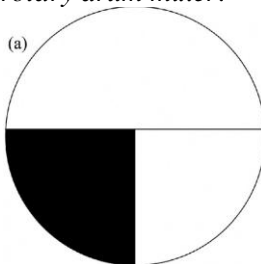
timbang terus menerus juga. Bahan biasanya dimasukkan ke dalam mixer oleh sistem konveyor. Mixer ini sangat cocok bila diperlukan banyak beton massal (yaitu bendungan, fondasi, dinding penahan dan pengisi beton massal). Mixer stasioner digunakan di pabrik beton siap pakai, sementara mixer portabel digunakan di lokasi konstruksi.

c. *Rotary Drum Mixer*

Mixer berputar sekitar sumbu horizontal. Putaran drum dalam satu arah untuk pencampuran. Satu set pisau ada untuk setiap operasi. Pencampuran yang efisien daengan sangat sedikit penumpukan didalam mixer. Pencampuran dengan *rotary* drum lebih memiliki efektivitas dan produktivitas lebih tinggi dibandingkan alat operasi lainnya. *Rotary drum mixer* berbentuk tabung silinder. Alat ini bekerja dengan bahan yang jatuh dalam drum yang berputar sesuai dengan hukum gravitasi.

Berdasarkan jenis-jenis *mixer* yang ada, maka geometri yang digunakan untuk melakukan penelitian ini dibatasi yaitu dengan menggunakan silinder panjang sebagai representatif dari *rotary drum mixer*.

3. Posisi bahan yang digunakan sudah dalam posisi *side-side loading* dalam *rotary drum mixer*.



Gambar I.1 Kondisi Awal Bahan dengan *side-side loading*

4. *Rotary drum mixer* yang digunakan untuk simulasi dalam keadaan terisi sebanyak 25% dan 50%, berputar secara dinamis dan konstan dengan beberapa variasi kecepatan putar.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dinamika partikel dari pengaruh perbedaan diameter dan densitas dari partikel terhadap dinamika fluida yang didapatkan dari proses pencampuran dalam *rotary drum mixer* dengan menggunakan simulasi numerik secara Komputasi Dinamika Fluida (KDF) menggunakan FLUENT, sehingga dapat meningkatkan *maintenance* dari *rotary drum mixer*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memperoleh dinamika partikel dari pengaruh perbedaan diameter dan densitas dari partikel terhadap proses pencampuran yang terjadi. Adanya data tentang distribusi partikel didalam *rotary drum mixer* akibat proses pencampuran. Hasil simulasi ini memberikan gambaran proses dan mekanisme yang terjadi dalam *rotary drum mixer* dalam skala besar dan memberikan pengetahuan mengenai distribusi partikel yang didapat untuk semua variabel yang digunakan.

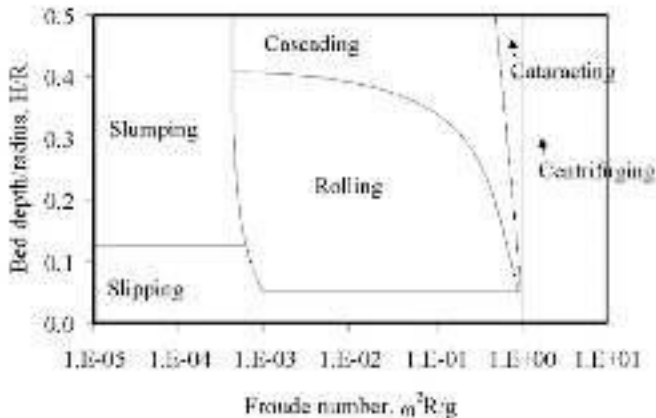
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

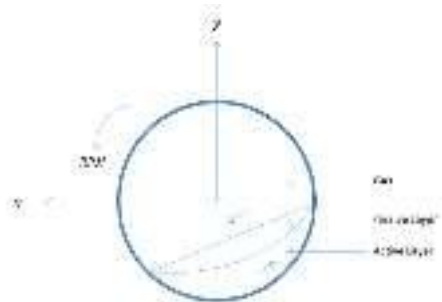
II.1 Arah Aliran Partikel

Arah aliran partikel dibedakan menjadi enam arah aliran berdasarkan perbandingan *Froude Number* dengan H/R . Arah aliran tersebut diantaranya *slipping*, *slumping*, *roliing*, *cascading*, *cataracting*, dan *centrifuging regime*.



Gambar II.1 Arah Aliran sebagai Fungsi dari Kondisi Operasional

Partikel yang bergerak dalam suatu alat operasi memiliki bagian aktif dan pasif. Ketika silinder berputar, partikel yang berdekatan dengan dinding mendapatkan kecepatan tertentu. Partikel lain terletak pada jarak dari dinding silinder dan tetap stagnan. Lapisan partikel yang memperoleh beberapa kecepatan karena rotasi dinding silinder disebut lapisan aktif, sedangkan lapisan stagnan partikel disebut sebagai lapisan pasif. Ketika kecepatan rotasi meningkat, ketebalan lapisan aktif meningkat.



Gambar II.2 Pembagian Layer Aktif dan Pasif dalam Rotary Drum

a. *Slipping Regime*

Mode *slipping* dapat diamati untuk $H/R < 0.15$ dan $Fr < 0.001$. Pada pola aliran partikel ini lapisan aktif menunjukkan gerakan partikel yang sedikit, mengakibatkan pencampuran partikel, transfer massa dan transfer panas antara partikel dan gas minimal.



Gambar II.3 Mode *Slipping*

b. *Slumping Regime*

Jika Fr bernilai dibawah 0.001, sedangkan H/R bernilai diatas 0.15, partikel cenderung bergerak dengan *moving wall* tetapi kemudian pada beberapa ketinggian partikel tiba-tiba bergerak kembali ke posisi semula. *Slumping regime* didominasi pada lapisan pasif, yang menyebabkan tidak efektif penggunaannya dalam aplikasi industri.



Gambar II.4 Mode *Slumping*

c. *Rolling Regime*

Ketika Fr meningkat hingga kisaran 0,001-1 dan H / R berada dalam kisaran 0,05-0,35, *rolling regime* dapat diamati. Dalam mode *rolling*, partikel yang berdekatan dengan dinding silinder bergerak dengan dinding ke ketinggian tertentu dan kemudian berguling kembali ke permukaan tempat tidur. Akibatnya, gerakan melingkar dapat diamati dalam *rolling regime* ini. Sebagian besar partikel menyentuh bagian bawah silinder dan permukaan atas selama operasi, yang berarti bahwa lapisan aktif lebih dominan. Transfer panas dan massa antara partikel dan antara gas dan partikel meningkat.



Gambar II.5 Mode *Rolling*

d. *Cascading Regime*

Ketika *filling degree* meningkat pada level tertentu diatas *rolling regime*, mode *cascading* dapat diamati. Lapisan aktif dan pasif sulit dibedakan satu sama lain, dimana partikel menunjukkan akumulasi yang lebih kuat pada sisi

yang ketinggian. Mode ini memberikan pencampuran maksimum dalam transfer massa dan transfer panas



Gambar II.6 Mode *Cascading*

e. *Cataracting Regime*

Untuk nilai $Fr > 1$ dan nilai H/R yang tinggi, mode *cataracting* dapat terjadi. Mode ini terjadi ketika partikel jatuh bebas pada ujung silinder. Pola aliran seperti ini memberikan pencampuran yang baik dalam silinder. Namun, mode ini tidak dianggap sebagai opsi yang baik dalam aplikasi industri karena operasional yang rendah dan kecepatan rotasi sangat tinggi.



Gambar II.7 Mode *Cataracting*

f. *Centrifuging Regime*

Peningkatan lebih lanjut dalam Fr akan memberikan mode *centrifugal*. Dalam mode ini, sebagian besar partikel ditekan ke arah dinding silinder karena gaya sentrifugal. Mode ini membutuhkan kecepatan rotasi yang sangat tinggi, dimana lapisan aktif lebih dominan. Mode ini digunakan dalam beberapa aplikasi seperti pengeringan dan pemisahan dari fluida.



Gambar II.8 Mode *Centrifuging*

II.2 Proses Pencampuran

Pencampuran adalah suatu proses reduksi atau pengurangan inhomogenitas dua macam atau lebih komponen bahan yang berbeda untuk mendapatkan hasil proses yang diinginkan. Inhomogenitas dapat berupa konsentrasi, fase, atau suhu. (Paul, 2004).

Proses pencampuran memiliki beberapa tujuan antara lain untuk mendistribusikan *partikel* secara merata, membentuk *suspense* antara padat dan cair, menghindari terjadinya proses sedimentasi partikel, mempercepat proses pencampuran fluida karena dapat mempercepat terjadinya proses sedimentasi partikel, mempercepat proses pencampur fluida karena dapat mempercepat terjadinya perpindahan massa dan energi yang berupa panas.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pencampuran adalah:

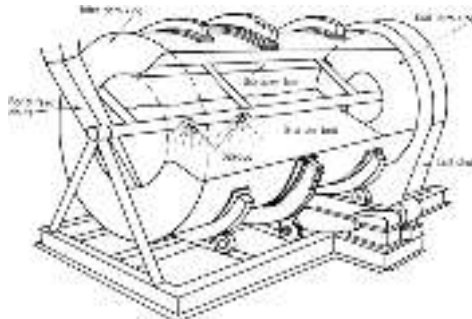
1. Aliran yang turbulen dan laju alir bahan yang tinggi biasanya menguntungkan proses pencampuran. Sebaliknya, aliran yang laminar dapat menggagalkan pencampuran.
2. Ukuran partikel atau luas permukaan. Semakin luas permukaan kontak bahan-bahan yang dicampur berarti semakin kecil partikel dan semakin mudah gerakannya dalam campuran, maka proses pencampuran semakin baik.
3. Kelarutan. Semakin besar kelarutan bahan-bahan yang akan dicampur maka semakin baik pula pencampurannya.
4. Viskositas.
5. Jenis bahan yang dicampur.
6. Urutan pencampuran.
7. Suhu dan tekanan.

II.3 Rotary Drum Mixer

Rotary drum mixer digunakan di banyak industri kimia, farmasi, makanan dan minuman untuk proses pencampuran, pelapisan, dan lain-lain untuk mencapai kondisi homogen. Pencampuran terjadi sebagai respons terhadap bahan-bahan yang di dalam drum. *Rotary drum mixer* lebih murah dibandingkan jenis *mixer* lainnya dan membutuhkan lebih sedikit daya per ton kapasitas.

Rotary drum mixer memiliki produktivitas tinggi dikarenakan mesin beroperasi secara terus-menerus, sehingga dapat menghilangkan *dead time*. Kecepatan putar mixer tidak dapat terlalu tinggi karena akan memberuk cincin distribusi dalam drum dan tidak dapat membentuk pencampuran yang efektif

Alat ini terdiri dari silinder berputar, yang sedikit condong ke horisontal untuk memudahkan pengangkutan material masuk ke drum. Drumnya biasanya dilengkapi dengan cincin bendungan sehingga meminimalkan tumpahan dari bahan yang masuk.



Gambar II.9 Sketsa Alat *Rotary Drum Mixer*

Dalam kebanyakan kasus, *rotary drum mixer* dilengkapi dengan beberapa bagian diantaranya struktur bantalan, kaki penopang yang dapat diatur untuk menentukan kemiringan *rotary drum*, motor penggerak, *stainless steel loading mouth*. Bagian sisi kanan drum didukung oleh dua roda bergulir yang dipasang secara simetris. Keseluruhan drum yang berputar cenderung, dan sudut instalasi.

Drum mixer adalah salah satu jenis alat pencampuran yang sederhana. Pabrik komersial pertama yang menggunakan teknologi tersebut didirikan di AS pada tahun 1930an untuk pecampuran komposit bijih besi. Pada tahun 1950an, proses mixer drum yang baru dikembangkan.



Gambar II.10 *Rotary Drum Mixer*

II.4 Komputasi Dinamika Fluida

Komputasi Dinamika Fluida (KDF) atau *Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan analisis sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena yang terkait lainnya seperti reaksi kimia dengan menggunakan simulasi komputer. Metode ini meliputi fenomena yang berhubungan dengan aliran fluida seperti sistem liquid dua fase, perpindahan massa dan panas, reaksi kimia, dispersi gas atau pergerakan partikel tersuspensi. Secara umum kerangka kerja CFD meliputi formulasi persamaan-persamaan transport yang berlaku, formulasi kondisi batas yang sesuai, pemilihan atau pengembangan kode-kode komputasi untuk mengimplementasikan teknik numerik yang digunakan.

Suatu kode CFD tersusun atas algoritma-algoritma numerik yang dapat menyelesaikan permasalahan aliran fluida. Suatu kode CFD terdiri dari tiga elemen utama yaitu *pre-processor*, *solver*, dan *post-processor*. *Pre-processing* meliputi masukan dari permasalahan aliran ke suatu program CFD dan

transformasi dari masukan tersebut ke bentuk yang cocok digunakan oleh solver.

Langkah-langkah dalam tahap ini:

- Pendefinisian geometri yang dianalisa.
- *Grid generation*, yaitu pembagian daerah domain menjadi bagian-bagian lebih kecil yang tidak tumpang tindih.
- Seleksi fenomena fisik yang perlu dimodelkan.
- Pendefinisian properti fluida.
- Pemilihan *boundary condition* (kondisi batas) pada kontrol volume atau sel yang berimpit dengan batas domain.
- Penyelesaian permasalahan aliran (kecepatan, tekanan, temperatur, dan sebagainya) yang didefinisikan pada titik nodal dalam tiap sel. Keakuratan penyelesaian CFD ditentukan oleh jumlah sel dalam grid.

Solver dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu : *finite difference*, *finite element*, *finite volume* dan metode spektral. Secara umum metode numerik *solver* tersebut terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut :

- Prediksi variabel aliran yang tidak diketahui dengan menggunakan fungsi sederhana.
- Diskretisasi dengan substitusi prediksi-prediksi tersebut menjadi persamaan-persamaan aliran utama yang berlaku dan kemudian melakukan manipulasi matematis.
- Penyelesaian persamaan aljabar.

Metode *finite volume* adalah pengembangan khusus dari formulasi *finite difference*. *Finite volume* digunakan pada software CFD. Algoritma numerik metode ini terdiri dari:

- Integrasi persamaan aliran fluida yang digunakan pada semua kontrol volume domain.
- Diskretisasi persamaan integral menjadi sistem persamaan aljabar.
- Penyelesaian persamaan aljabar dengan metode iterasi.

Post-processing merupakan tahap visualisasi dari hasil tahapan sebelumnya. *Post-processor* semakin berkembang dengan majunya *engineering workstation* yang mempunyai kemampuan grafik dan visualisasi cukup besar. Alat visualisasi tersebut antara lain :

1. Domain geometri dan *display*.
2. Plot vektor.
3. Plot kontur.
4. Plot 2D dan 3D *surface*.
5. Manipulasi tampilan (translasi, rotasi, skala, dan sebagainya).
6. Animasi *display* hasil dinamik.

Di dalam simulasi, model-model yang digunakan didiskretisasi dengan metode formulasi dan diselesaikan dengan menggunakan algoritma-algoritma numerik yang disesuaikan dengan permasalahan dan sistem yang akan dimodelkan.

II.4.1 Pemodelan Multifase

Pada prinsipnya ada dua pendekatan untuk pemodelan multifase yaitu *Lagrangian* dan *Euler-Euler*. Pendekatan *lagrangian* umumnya digunakan pada pemodelan multifase konsentrasi rendah sedangkan pendekatan *eulerian* dapat digunakan untuk daerah konsentrasi dan komposisi yang lebih luas. Pendekatan *lagrangian* mengasumsikan fasa *dispersed*. Pendekatan *eulerian* sangat kompleks sehingga diperlukan penyederhanaan seperti menempati volume yang lebih kecil dan lintasan partikel dihitung secara individual pada selang waktu tertentu selama perhitungan *fluid phase* . Adapun untuk pendekatan *eulerian*, fasa yang berbeda dianggap sebagai interpenetrating continua. Volume sebuah fasa tidak dapat ditempati oleh fasa lain, dimana volume fraksi ini di asumsikan sebagai fungsi dari ruang dan waktu. Ada tiga model aliran multifase untuk pendekatan *eulerian* yaitu *Volume of Fluid* (VOF), *mixture model*, dan *eulerian model*.

Model Eulerian menyelesaikan satu set persamaan momentum dan kontinuitas untuk masing-masing fase. Coupling di capai melalui tekanan dan koefisien transfer antar fasa. Untuk aliran granular, properti diperoleh dari aplikasi teori kinetik dan transfer momentum antar fase tergantung jenis campuran yang dimodelkan yaitu:

1. Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_k \rho_k) + \nabla (\alpha_k \rho_k v_k) = 0$$

$k = 0$ untuk fase gas; $k = 1$ untuk fase solid 1; $k = 2$ untuk fase solid 2

2. Persamaan momentum fase gas

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_0 \rho_0 v_0) + \nabla (\alpha_0 \rho_0 v_0 v_0) = - \alpha_0 \nabla p_0 + \nabla \tau_0 + \alpha_0 \rho_0 g + \sum_{d=1}^2 K_{0d}(v_d - v_0)$$

3. Persamaan momentum fase solid

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_d \rho_d v_d) + \nabla (\alpha_d \rho_d v_d v_d) = - \alpha_d \nabla p_0 - \nabla p_d + \nabla \tau_d + \alpha_d \rho_d g - K_{0d}(v_d - v_0) + \sum_{k=1}^2 K_{dk}(v_k - v_d)$$

4. Persamaan transport granular

$$\frac{3}{2} \left[\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_d \rho_d \theta_d) + \nabla (\alpha_d \rho_d v_d \theta_d) \right] = (- p_d I + \tau_d) : \nabla v_d + - \nabla (k_{\theta d} \nabla \theta_d) - \gamma_{\theta d} + \phi_{0d}$$

dimana $v_0, v_d, \alpha_0, \alpha_d, \rho_0, \rho_d, p_0, p_d, \mu_0, \mu_d, \lambda_d, e_{dd}, d_d, k_{\theta d}, \gamma_{\theta d}$, dan ϕ_{0d} secara berturut – turut adalah vector kecepatan fluida, vector kecepatan fase solid, fraksi volume fluida, fraksi volume fase solid, densitas fluida, densitas fase solid, tekanan, tekanan fase solid, viskositas fluida, viskositas fase solid, bulk viskositas fase solid, koefisien restitusi fase solid, diameter partikel, koefisien difusi energi, energi disipasi ketika bertumbuk, dan perpindahan energi antara fluida dengan fase solid

II.4.2 Model Dinamika Aliran

Terdapat dua model dinamika aliran fluida yang dikenal yaitu aliran laminar, dan aliran turbulen yang pada umumnya dikenal dari bilangan Reynold yang dimilikinya, nilai batas

diantara keduanya disebut aliran transisi. Aliran akan menjadi turbulen jika gaya viskos lokal mampu diatasi oleh gaya inersia, gaya apung, gaya sentrifugal atau gaya lainnya. Pada saat gaya inersia dan gaya badan (*body force*) cukup besar dibandingkan gaya viskos, maka kedua gaya ini akan memperbesar gangguan-gangguan acak yang ada pada setiap aliran untuk kemudian tumbuh dan menjadi tidak stabil dan tidak linear, berinteraksi satu dengan yang lain dan bergabung menjadi gerakan acak yang tidak beraturan. Pada saat tersebut aliran kemudian berubah menjadi turbulen. Dua persamaan model turbulensi memberikan penentuan panjang turbulen dan skala waktu dengan menyelesaikan dua persamaan. Model standard $k - \epsilon$ merupakan model semi empiris berbasis model persamaan transport untuk energi kinetik turbulen (k) dan laju disipasi (ϵ), yang dikembangkan oleh Launder & Spalding. Dalam model ini diasumsikan bahwa aliran telah berkembang penuh penuh (*fully turbulent*) dan efek viskositas molekular diabaikan

II.5 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian, baik secara eksperimen maupun simulasi mempelajari tentang dinamika partikel yang terjadi pada *rotary drum mixer*.

Wang et al (2002) dalam penelitian dengan judul “*Review and Future Directions in the Modelling and Control of Continuous Drum Granulation*” melakukan penelitian mengenai tinjauan dan arah pengembangan dalam pemodelan dan kontrol drum granulator secara kontinyu. Dalam penelitian ini dihasilkan pemodelan secara non-linear harus dikembangkan menggunakan *switching* model secara terstruktur dapat memperbaiki kualitas dan produktivitas proses granulasi

Kumar et al (2013) melakukan penelitian mengenai pemodelan dan alat ukur pendukung untuk melakukan proses *high shear wet granulation* (HSWG). Dalam penelitian dengan judul “*Model-based analysis of high shear wet granulation from batch to continuous processes in pharmaceutical production – A*

critical review”, hampir seluruh proses pembuatan obat – obatan di dunia kesehatan telah menggunakan proses kontinu, sementara proses granulasi dan pengeringan masih menggunakan proses *batch*. Untuk mengubah proses granulasi yang awalnya *batch* menjadi kontinu, dilakukan pemodelan *Population Balance Model* (PBM), *Discrete Element Method* (DEM). Dari penelitian ini dihasilkan bahwa pemodelan PBM dengan menggunakan CFD dapat digunakan pengembangan dalam menyederhanakan pemodelan yang sudah ada.

Delele et al (2015) dalam penelitiannya dengan judul “*Studying the solids and fluid behaviour in rotary drums based on a multiphase CFD model*” melakukan penelitian mengenai studi aliran solid dan fluida di *rotary drum*. Dalam penelitian ini, digunakan 3D multifase model CFD dari partikel and aliran fluida dengan efek dari kecepatan putar dari drum, pengisian, laju solid yang masuk, dan kecenderungan sudut putar, serta *residence time* dari partikel. Hasil yang didapat yaitu model CFD multifase dapat digunakan untuk mengetahui aliran solid dan fluida, hanya saja dibutuhkan perbaikan untuk keakuratan model dan disarankan menggunakan (DEM-CFD coupling) model

Santos et al (2016) melakukan penelitian dengan judul “*Segregation phenomenon in a rotary drum: Experimental study and CFD simulation*”. Penelitian yang dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif terhadap pencampuran dan segregasi dalam *rotary drum* yang dilakukan dengan perbedaan densitas dan diameter dari partikel. Dalam penelitian ini selain dilakukan eksperimen dengan alat skala laboratorium, dilakukan juga simulasi numerik dengan model fluida euler-euler. Hasil yang didapat, menunjukkan hasil yang didapat melalui proses simulasi memiliki hasil yang sama dengan hasil yang didapat dengan melakukan eksperimen menggunakan alat skala laboratorium.

Rodrigues et al (2017) dalam penelitian yang berjudul “*Drum Granulation of Single Super Phosphate Fertilizer: Effect of Process Variables and Optimization*” melakukan penelitian mengenai efek dari variabel dan optimasi dari pupuk super fosfat

yang dihasilkan oleh drum granulator. Dalam penelitian ini berdasarkan studi ekperimental dari efek *drum hold-up*, kecepatan putar (rotasi) drum, rasio fase cair (*liquid*), dan lamanya proses granulasi yang dilakukan didapatkan hasil variasi kekerasan granul dan efisiensi proses granulasi yang kemudian dioptimasi menggunakan algoritma secara SQP untuk memaksimalkan kekerasan granul dan efisiensi proses granulasi didapatkan 38% kecepatan putar, rasio *liquid* yang digunakan yaitu sebesar 455-460, waktu pada proses granulasi yang digunakan yaitu 4,7-5,3 menit, dan *drum hold-up* 10-11%

Yu et al. (2017) dalam penelitiannya yang berjudul “*Granulation Characteristics of Molten Blast Furnace Slag by Hybrid Centrifugal-Air Blast Technique*” melakukan penelitian mengenai kompartemen CFD-PBM Model dari *High Shear Wet Granulation*. Dalam penelitian ini, dihasilkan bahwa untuk kandungan liquid yang rendah maupun tinggi penyesuaian parameter (layer, penggabungan material, laju pemecahan) dapat memberikan prediksi secara kuantitatif proses granulasi yang terjadi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

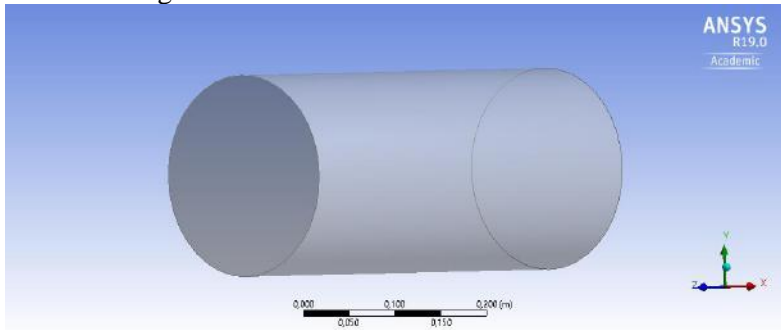
METODOLOGI PENELITIAN

Proses pembuatan sistem dalam penelitian ini menggunakan piranti lunak ANSYS® 18.2 *Academic Package* dengan lisensi pengguna milik Departemen Teknik Kimia FTI-ITS. Untuk permodelan geometri digunakan Design Modeller® dengan penentuan *grid* dan jumlah *node* menggunakan *Meshing*® dan perhitungan iterasi simulasi CFD menggunakan FLUENT®

III.1 Sistem yang Dipelajari

III.1.1 Geometri *Rotary Drum Mixer*

Sistem yang digunakan dalam penelitian dinamika partikel dalam *rotary drum mixer* ini adalah tabung silinder dengan posisi horizontal tanpa *baffles* yang memiliki ukuran ilustrasi sebagai berikut:

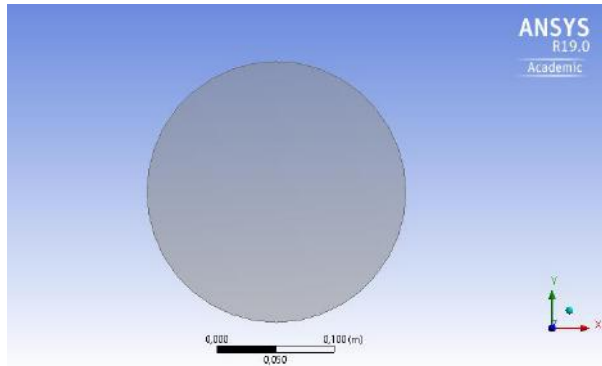


Gambar III.1 Dimensi *Rotary Drum Mixer*

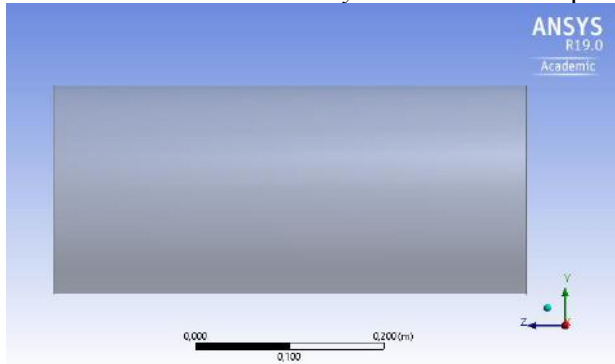
H = Panjang *Rotary Drum Mixer* = 0,5 m

D = Diameter *Rotary Drum Mixer* = 0,22 m

Pada simulasi ini digunakan sistem *multiphase* dimana digunakan fase gas dan fase solid sebagai bahan yang akan disimulasikan menggunakan FLUENT.



Gambar III.2 Geometri *Rotary Drum Mixer* Tampak Depan



Gambar III.3 Geometri *Rotary Drum Mixer* Tampak Sampling

III.1.2 Bahan yang Digunakan

Penelitian ini menggunakan dua bahan yaitu *glassbeads* dan *soybean* dalam *mixer* dengan tiga konfigurasi partikel yang berbeda sebagai data berikut :

Tabel III.1 Konfigurasi Partikel pada Penelitian

Konfigurasi	Material 1		Material 2	
M1	<i>Glass beads</i>		<i>Glass beads</i>	
	d (mm)	ρ_s (kg/m ³)	d (mm)	ρ_s (kg/m ³)
	6.35	2460	6.35	2460

M2	<i>Glass beads</i>		<i>Glass beads</i>	
	d (mm)	ρ_s (kg/m ³)	d (mm)	ρ_s (kg/m ³)
	6.35	2460	1.13	2460
M3	<i>Glass beads</i>		<i>Soybean</i>	
	d (mm)	ρ_s (kg/m ³)	d (mm)	ρ_s (kg/m ³)
	6.35	2460	6.39	1164

III.2 Prosedur Simulasi KDF

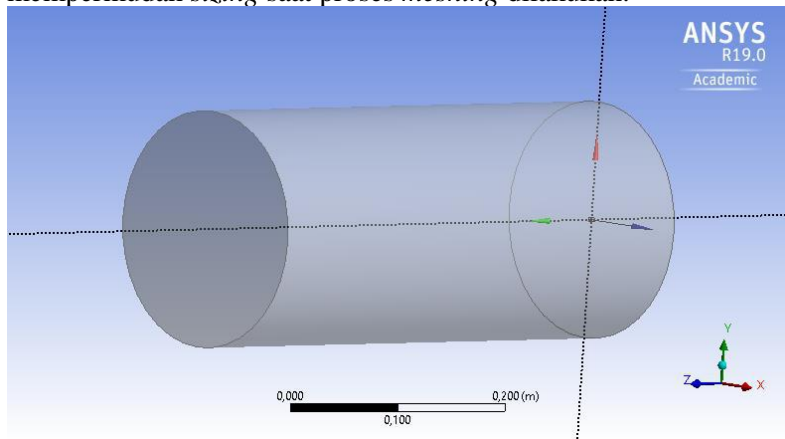
Simulasi yang dilakukan melalui beberapa tahapan proses yaitu *Pre-Processing*, *Solving* dan *Post Processing*.

III.2.1 Tahapan *Pre-Processing*

Geometri dan *meshing* menggunakan *software Design Modeller®*

1. Membuat model geometri

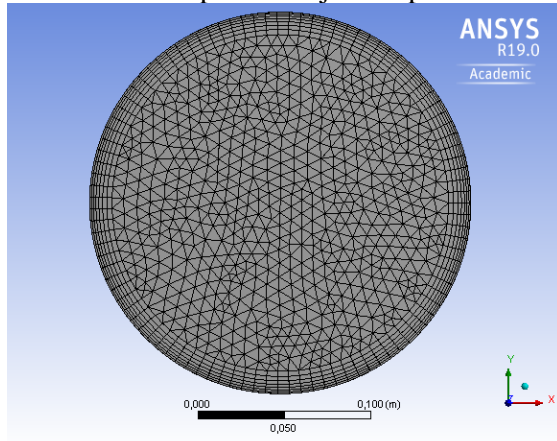
Model geometri berupa silinder yang di-*extrude* dari bentuk lingkaran dengan titik pusat (0; 0; 0). Hal ini bertujuan untuk mempermudah *sizing* saat proses *meshing* dilakukan.



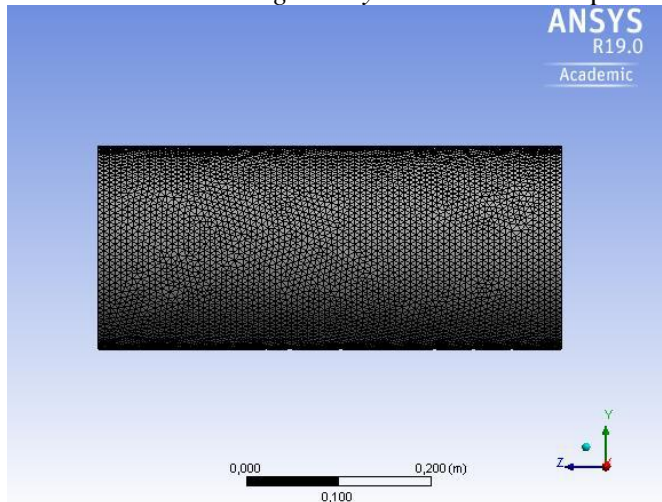
Gambar III.4 Geometri *Rotary Drum Mixer* Tampak Samping

2. Membuat *grid* menggunakan *Meshing®* untuk geometri yang telah dibuat dan mendefinisikan *boundary condition*.

Kualitas *meshing* pada *rotary drum mixer* yang digunakan dalam simulasi ini seperti ditunjukkan pada **Tabel III.2**



Gambar III.5 *Meshing Rotary Drum Mixer Tampak Depan*



Gambar III.6 *Meshing Rotary Drum Mixer Tampak Samping*

Tabel III.2 *Kualitas Meshing*

Elements	495933
-----------------	--------

Nodes	127140
Skewness Max	0,84522
Skewness Average	0,15993
Orthogonal Max	0,99555
Orthogonal Average	0,81896

III.2.2 Tahapan *Solving*

Sistem yang pada proses ini dilakukan pengaturan model dan kondisi batas dengan tahap sebagai berikut:

1. Memilih tipe *solver* dan kondisi yang digunakan dalam keadaan *steady state*
2. Memilih persamaan yang akan digunakan dengan model *transient*
3. Memodelkan turbulensi dengan menggunakan *laminar*
4. Memodelkan sisten *multiphase* dengan menggunakan *Eulerian*
5. Memasukkan *properties* masing – masing fase
6. Mendefinisikan masing – masing fase yang akan disimulasikan dengan *primary phase* dan *secondary phase* sesuai *feed* yang akan disimulasikan
7. Mendefinisikan *cell zone* yang terbagi menjadi dua zona yaitu *moving zone* dan *static zone* yang keduanya memiliki *interface*
8. Menentukan *boundary condition*
9. Menginisiasi sistem
10. Menentukan region yang akan diteliti dan kemudian di-*patch*
11. Memilih solver dan orde persamaan
12. Menghitung penyelesaian model matematis

Set up tersebut ditunjukkan pada **Tabel III.3**

Tabel III.3 *Set Up* yang Digunakan pada *Solving* pada Konfigurasi M1, M2, dan M3

<i>SET UP</i>	Konfigurasi M1	Konfigurasi M2	Konfigurasi M3
1. General			

<i>Solver</i>	<i>Pressure-based</i>	<i>Pressure-based</i>	<i>Pressure-based</i>
<i>Time</i>	<i>Transient</i>	<i>Transient</i>	<i>Transient</i>
<i>Gravity (m/s²)</i>	-9.81	-9.81	-9.81
2. Models			
<i>Multiphase</i>	<i>Eulerian</i>	<i>Eulerian</i>	<i>Eulerian</i>
<i>Number of Eulerian Phases</i>	3	3	3
<i>Viscous</i>	<i>Laminar</i>	<i>Laminar</i>	<i>Laminar</i>
3. Materials			
<i>Glassbeads 1</i>	√	√	√
<i>Glassbeads 2</i>	-	√	-
<i>Soybean</i>	-	-	√
4. Cell Zone Conditions			
Moving	<i>Mesh motion</i>	<i>Mesh motion</i>	<i>Mesh motion</i>
<i>Rotation-axis origin</i>	x = 0	x = 0	x = 0
	y = 0	y = 0	y = 0
	z = 0	z = 0	z = 0
<i>Rotation-axis direction</i>	x = 0	x = 0	x = 0
	y = 0	y = 0	y = 0
	z = 1	z = 1	z = 1
5. Boundary condition			
prop-mov (wall)			
<i>wall motion</i>	<i>stationay wall</i>	<i>stationay wall</i>	<i>stationay wall</i>
<i>Shear condition</i>	no slip	no slip	no slip

Tabel III.4 *Solution yang Digunakan pada Solving pada Konfigurasi M1, M2, dan M3*

<i>SOLUTION</i>	Konfigurasi M1	Konfigurasi M2	Konfigurasi M3
1. Solution Methods			
<i>Scheme</i>	<i>SIMPLE</i>	<i>SIMPLE</i>	<i>SIMPLE</i>
<i>Gradient</i>	<i>Least squares cell based</i>	<i>Least squares cell based</i>	<i>Least squares cell based</i>
<i>Momentum</i>	<i>First order upwind</i>	<i>First order upwind</i>	<i>First order upwind</i>
<i>Volume fraction</i>	<i>First order upwind</i>	<i>First order upwind</i>	<i>First order upwind</i>
2. Solution Controls			
<i>Pressure</i>	0.3	0.3	0.3
<i>Density</i>	1	1	1
<i>Body forces</i>	1	1	1
<i>Momentum</i>	0.7	0.7	0.7
3. Run Calculation			
<i>Time Stepping Method</i>	<i>Fixed</i>	<i>Fixed</i>	<i>Fixed</i>
<i>Time Step Size</i>	0.001	0.001	0.001
<i>Number of Time Steps</i>	150.000	150.000	150.000
<i>Max Iterations per Time Step</i>	10	20	20

Pada sistem ini digunakan sistem *multiphase* dengan tiga variasi kecepatan pengadukan, dimana digunakan solver *Pressure-Based Solver*. Fluida yang ada disekitar dinding silinder memiliki kecepatan sama dengan 0, maka pada penyelesaian permasalahan digunakan batasan *no slip condition for particle*.

Kondisi Mixer dalam *transient condition* dengan menggunakan sistem SIMPLE-*algorithm* dengan pengaturan *gradient* adalah *Least Squares Cell Based* karena lebih akurat. Untuk metode interpolasi pada sistem ini, untuk mencapai konvergensi digunakan metode *First Order Upwind Method* pada persamaan momentum dan fraksi volume.

III.2.3 Tahapan *Post-Processing*

Tahapan *post-processing* meliputi karakterisasi pola alir secara visual dilakukan pada bidang pengamatan. Metode penyelesaian menggunakan *control volume-based* untuk mengkonversi persamaan umum ke persamaan aljabar, yang diselesaikan secara matematis. Skema diskretisasi yang digunakan adalah *first order upwind*. Persamaan-persamaan diselesaikan secara numerik menggunakan algoritma SIMPLE (*Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations*).

III.3 Variabel Percobaan

Variabel yang digunakan dalam sistem yang diteliti pada *filling degree* dalam fraksi volume sebesar 25% dan 50% adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh kecepatan putar dengan konfigurasi:

Material 1 yaitu *Glassbeads* dengan diameter 6.35 mm dan densitas 2460 kg/m³ dan Material 2 yaitu *Glassbeads* dengan diameter 6.35 mm dan densitas 2460 kg/m³ yang diputar dengan kecepatan putar 0.59 rad/s; 1.10 rad/s; dan 1.77 rad/s.

2. Pengaruh diameter partikel

Material 1 yaitu *Glassbeads* dengan diameter 6.35 mm dan densitas 2460 kg/m³ dan Material 2 yaitu *Glassbeads* dengan diameter 1.13 mm dan densitas 2460 kg/m³ yang diputar dengan kecepatan putar 0.59 rad/s; 1.10 rad/s; dan 1.77 rad/s.

3. Pengaruh densitas partikel

Material 1 yaitu *Glassbeads* dengan diameter 6.35 mm dan densitas 2460 kg/m^3 dan Material 2 yaitu *Soybean* dengan diameter 6.39 mm dan densitas 1164 kg/m^3 yang diputar dengan kecepatan putar 0.59 rad/s; 1.10 rad/s; dan 1.77 rad/s.

III.4 Kondisi Batas

Kondisi batas yang digunakan dalam sistem yang dipelajari adalah:

1. Dinding didalam ruang putar sebagai *wall*
2. Sistem yang dipelajari sebagai *radiant section*

III.5 Bidang Pengamatan

Bidang pengamatan yang diamati dalam penelitian ini adalah bidang vertikal bagian depan dari *rotary drum mixer*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

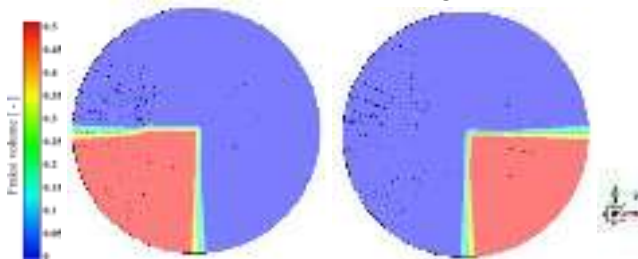
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik pencampuran pada *rotary drum mixer* dapat diketahui dari bahan yang digunakan, *filling degree* dan kecepatan pengadukan yang digunakan. Pada penelitian ini, jenis bahan yang digunakan adalah *glassbeads* 1 dengan ukuran 6.35 mm, *glassbeads* 2 dengan ukuran 1.13 mm, dan *soybean* dengan ukuran 6.39 mm dengan tiga konfigurasi pada tiga variabel kecepatan pengadukan yaitu 0.59 rad/s, 1.10 rad/s, 1.77 rad/s. Bahan yang dimasukan kedalam *rotary drum mixer* dalam posisi *side-side loading*. Persamaan untuk model ini menggunakan persamaan-persamaan yang berada pada bab II yaitu persamaan kontinuitas dan momentum.

Pada simulasi ini material dari *rotary drum* yang digunakan tidak didefinisikan apakah menggunakan bahan besi ataupun karet sehingga efek dari bahan *rotary drum* diabaikan dan pada dinding *rotary drum* didefinisikan *slip* agar saat diputar material tidak lengket pada dinding *rotary drum*. Untuk *regime* yang dihasilkan, diketahui berdasarkan nilai *Froude number* yang didapat menggunakan rumus $Fr = \Omega^2 R/g$, dimana Ω adalah kecepatan putar *rotary drum*, R adalah diameter *rotary drum*, dan g merupakan konstanta kecepatan gravitasi.

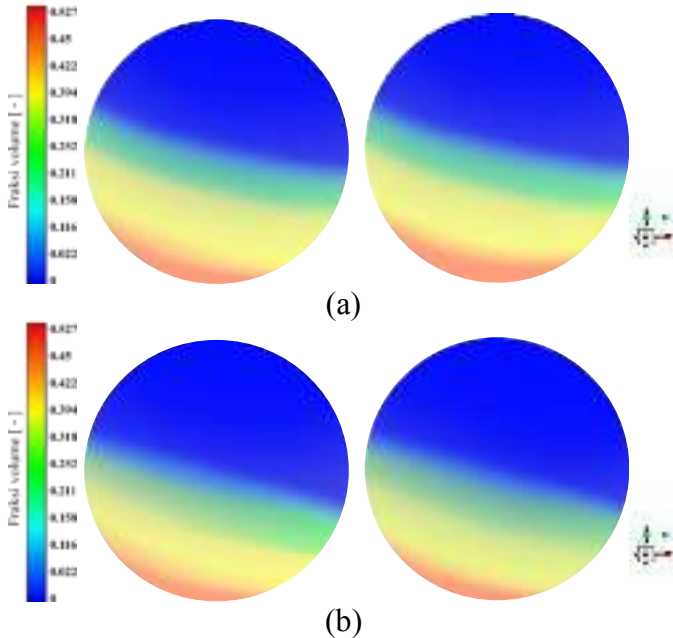
Karakteristik dinamika partikel yang dibahas dari hasil simulasi ini disajikan dalam bentuk *contour* dalam *volume based*. Kondisi awal pada *rotary drum mixer* sebagai berikut:

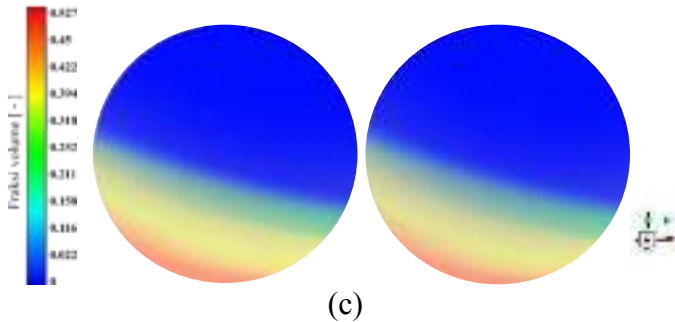


Gambar IV.1 Kondisi Kontur Awal pada *Rotary Drum Mixer*

IV.1 Karakteristik Distribusi Partikel dalam *Rotary Drum Mixer* pada Sistem *Monodisperse*

Konfigurasi M1 pada simulasi yang dilakukan terdiri atas 2 jenis *glassbeads* dengan ukuran diameter dan densitas yang sama. Sistem ini biasa disebut dengan sistem *monodisperse*. Konfigurasi M1 ini digunakan untuk mengetahui dinamika yang terjadi pada bahan yang murni dalam *rotary drum mixer*. Adapun hasil yang didapat pada simulasi selama 150 detik ini dapat dilihat melalui kontur **Gambar IV.2.** untuk simulasi dengan *filling degree* sebesar 50% dan **Gambar IV.3.** untuk *filling degree* sebesar 25%.





Gambar IV.2 Distribusi Partikel Sistem *Glassbeads-Glassbeads* (Monodisperse) dengan *filling degree* 50% dan Kecepatan Putar
(a) 1.77 rad/s; (b) 1.10 rad/s; (c) 0.59 rad/s

Pada simulasi *rotary drum mixer* dengan *filling degree* 50%, *glassbeads* 1 dan *glassbeads* 2 yang keduanya memiliki properti densitas dan diameter yang sama diinput pada simulasi satu per satu sehingga terdefinisi sebagai material yang berbeda meskipun memiliki properti yang sama. Kondisi awal pada sistem ini yaitu *Glassbeads* 1 dan *glassbeads* 2 sama-sama memiliki fraksi volume sebesar 25% dan sisanya adalah udara. *Glassbeads* 1 dan *glassbeads* 2 teraduk secara merata dikarenakan diameter ukuran dari partikel tersebut sama. Berdasarkan kontur hasil simulasi diatas dapat dilihat bahwa partikel dengan diameter 6.35 mm teraduk hingga bagian tengah volume dari silinder *rotary drum*. Kecepatan pengadukan memberikan pengaruh adanya kontak dengan dinding dari drum. Hal ini dikarenakan waktu kontak antara partikel yang ada dalam mixer semakin sering terjadi ketika kecepatan putar rotasi dari *mixer* meningkat.

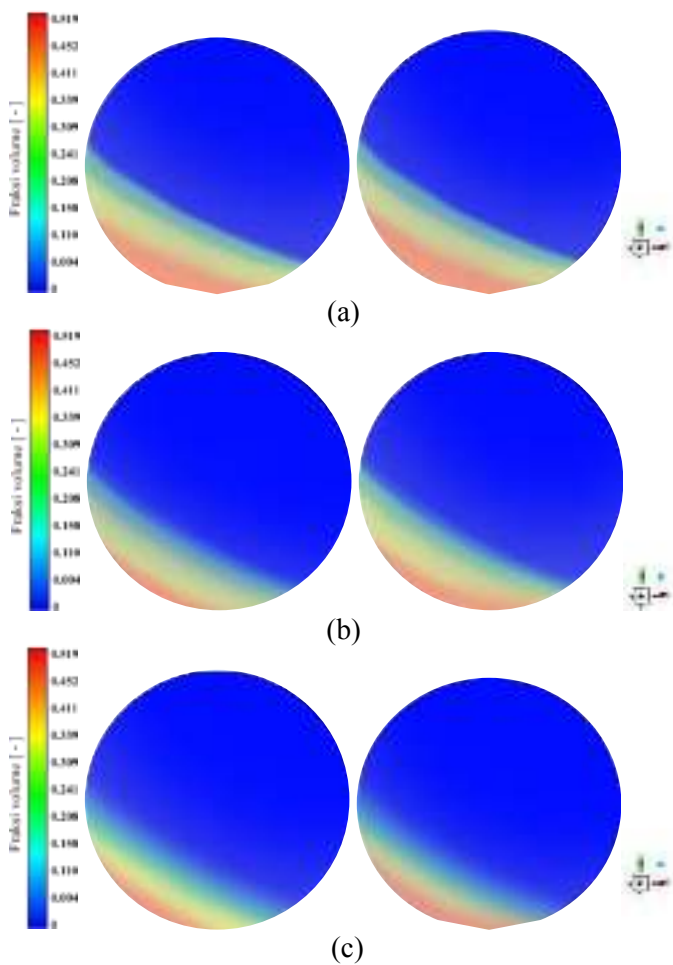
Pada kecepatan putar 0.59 rad/s partikel solid mengalami pengadukan pada bagian dasar *mixer*. Putaran *mixer* memberikan kontak antara dinding dengan *glassbeads*. Walaupun hanya sebagian partikel solid yang teraduk dalam *mixer*, partikel mengalami pengadukan dan kontak dengan adanya warna kemerahan pada bagian dasar *mixer*. Terjadi *rolling regime*

karena nilai $Fr = 0,0038$ (*Rolling regime* berada pada Fr dengan *range* 0,001-1)

Kecepatan putar 1.10 rad/s pada kontur distribusi partikel menunjukkan peningkatan kontak antar partikel di dalam *mixer* dengan dinding silinder *rotary drum*. Semakin banyaknya warna kuning dan merah pada dasar dinding menunjukkan dinamika partikel solid terjadi. Terjadi *rolling regime* karena nilai $Fr = 0,0133$ (*Rolling regime* berada pada Fr dengan *range* 0,001-1). Peningkatan kecepatan memberikan kontak lebih banyak dibandingkan sebelumnya.

Dilain hal, pada kecepatan putar 1.77 rad/s pencampuran pada fase solid terjadi pada bagian bawah *rotary drum mixer* yang ditunjukkan dengan warna merah menunjukkan adanya pengadukan mode *rolling* dengan diameter berukuran besar. Adanya kontur berwarna kuning pada gambar diatas menunjukkan adanya pengadukan dan kontak granul antara *glassbeads* dan dinding *mixer* akibat pengadukan secara *rolling regime* karena nilai $Fr = 0,0343$ (*Rolling regime* berada pada Fr dengan *range* 0,001-1)

Hasil simulasi yang dilakukan pada karakteristik dinamika partikel dengan sistem *monodisperse* menunjukkan distribusi dari partikel baik *glassbeads* 1 maupun *glassbeads* 2 menyebar secara menyeluruh dan merata dengan kontur yang dihasilkan antara *glassbeads* 1 dan *glassbeads* 2. Secara teoritis pengadukan *monodisperse* menunjukkan hasil yang sama, dimana persebaran partikel yang dihasilkan secara merata pada suatu alat operasi (Doucet, 2008)



Gambar IV.3 Distribusi Partikel Sistem *Glassbeads-Glassbeads* (Monodisperse) dengan *filling degree* 25% dan Kecepatan Putar (a) 1.77 rad/s; (b) 1.10 rad/s; (c) 0.59 rad/s

Pada *filling degree* 25% dalam sistem *monodisperse*, *glassbeads* 1 dan *glassbeads* 2 yang keduanya memiliki properti densitas dan diameter yang sama diinput pada simulasi satu per

satu sehingga terdefinisi sebagai material yang berbeda meskipun memiliki properti yang sama. Fase solid memenuhi *rotary drum mixer* sebesar 12,5% bagian dan sisanya adalah udara. Pembagian antara *glassbeads* 1 dan *glassbeads* 2 secara *side-side loading position* untuk pengadukan beberapa variabel kecepatan putar memberikan efek yang hampir sama dengan *filling degree* 50%. Kecepatan pengadukan memberikan pengaruh adanya kontak dengan dinding dari drum. Hal ini dikarenakan waktu kontak antara partikel yang ada dalam *mixer* semakin terjadi ketika kecepatan putar rotasi dari *mixer* meningkat.

Pada kecepatan putar 0.59 rad/s partikel solid mengalami pengadukan pada bagian dasar *mixer*. Putaran *mixer* memberikan kontak antara dinding dengan *glassbeads*. Walaupun hanya sebagian partikel solid yang teraduk dalam *mixer*, bahan mengalami pengadukan dan kontak dengan adanya warna kemerahan pada bagian dasar *mixer*. Terjadi *rolling regime* karena nilai $Fr = 0,0038$ (*Rolling regime* berada pada Fr dengan range 0,001-1)

Kecepatan putar 1.10 rad/s pada kontur distribusi partikel menunjukkan peningkatan kontak antar partikel di dalam *rotary drum* dengan dinding silinder drum. Semakin banyaknya warna kuning dan merah pada dasar dinding menunjukkan dinamika partikel solid terjadi. Terjadi *rolling regime* karena nilai $Fr = 0,0133$ (*Rolling regime* berada pada Fr dengan range 0,001-1). Adanya peningkatan kecepatan dibandingkan variabel kecepatan 0.59 rad/s memberikan waktu kontak lebih banyak dibandingkan sebelumnya.

Dilain hal, pada kecepatan putar 1.77 rad/s pencampuran pada fase solid terjadi pada bagian bawah *rotary drum mixer* yang ditunjukkan dengan warna merah menunjukkan adanya pengadukan mode *rolling* dengan diameter berukuran besar. Adanya kontur berwarna kuning pada gambar diatas menunjukkan adanya pengadukan dan kontak antara *glassbeads* dengan dinding *rotary drum* akibat pengadukan secara *rolling*

regime karena nilai $Fr = 0,0343$ (*Rolling regime* berada pada Fr dengan *range* 0,001-1)

Dari kontur tersebut terlihat bahwa baik *glassbeads* 1 maupun *glassbeads* 2 sama – sama tersebar secara merata di dalam *rotary drum mixer*, karena pada dasarnya kedua bahan memiliki sifat dan ciri yang sama ditinjau dari densitas maupun ukuran dari diameter partikelnya (*Doucet, 2008*)

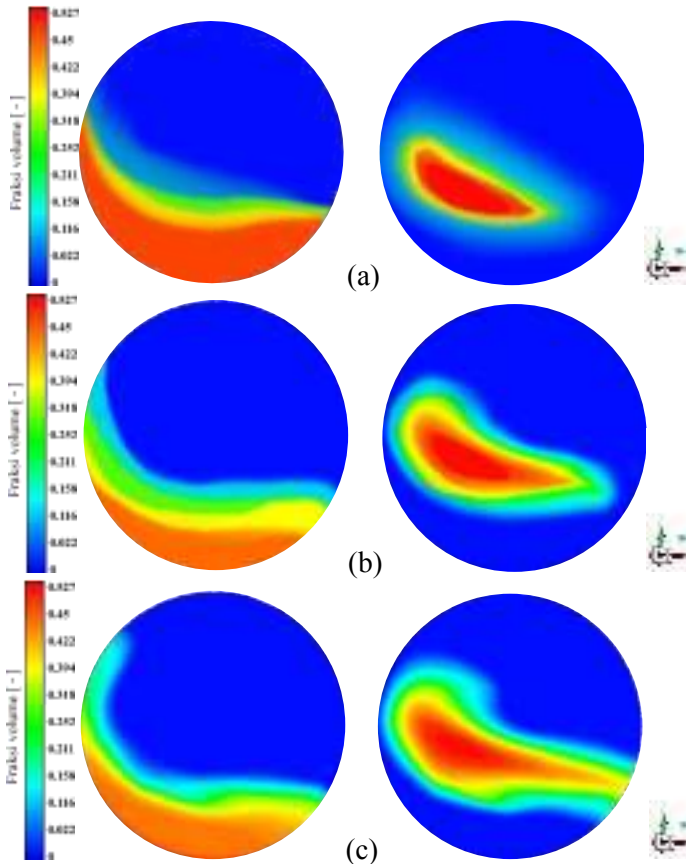
Hasil simulasi yang dilakukan pada karakteristik dinamika partikel dengan sistem *monodisperse* menunjukkan distribusi dari partikel baik *glassbeads* 1 maupun *glassbeads* 2 menyebar secara menyeluruh dan merata dengan kontur yang dihasilkan antara *glassbeads* 1 dan *glassbeads* 2. Secara teoritis pengadukan *monodisperse* menunjukkan hal yang sama, dimana persebaran partikel yang dihasilkan secara merata pada suatu alat operasi (*Doucet, 2008*)

Pada sistem *monodisperse* ini baik dengan *filling degree* 50% dan 25% digunakan untuk mengevaluasi apakah partikel memiliki kecenderungan memisah akibat adanya pergerakan dari dinding *rotary drum*. Tetapi dapat dilihat dari sistem yang awalnya bahan saling terpisah seperti pada **Gambar IV.1** dapat bercampur seperti yang terlihat pada **Gambar IV.2.** untuk simulasi dengan *filling degree* sebesar 50% dan **Gambar IV.3.** untuk *filling degree* sebesar 25% (*Santos, 2016*)

IV.2 Pengaruh Perbedaan Diameter terhadap Distribusi Partikel dalam Rotary Drum Mixer

Konfigurasi M2 pada simulasi yang dilakukan terdiri atas 2 jenis *glassbeads* dengan densitas yang sama tetapi berbeda pada diameternya. Pada *glassbeads* pertama, diameter yang digunakan sebesar 6.35 mm sementara *glassbeads* kedua berukuran 1.13 mm. Adapun hasil yang didapat pada simulasi yang dilakukan selama 150 detik ini dapat dilihat pengaruh variasi pada diameter partikel ini dapat ditinjau dari bidang pengamatan pada kontur pada **Gambar IV.4.** untuk simulasi dengan *filling degree* sebesar 50% dan **Gambar IV.5.** untuk *filling degree* sebesar 25%.

Berdasarkan hasil simulasi dengan konfigurasi material bahan *glassbeads* dengan perbedaan diameter dengan variasi kecepatan putar dan *filling degree* 50% dan 25% memberikan hasil yang beragam. Partikel bergerak dan terjadi persebaran antara bahan yang memiliki ukuran lebih besar dan bahan dengan ukuran lebih kecil.



Gambar IV.4 Distribusi Partikel Sistem *Glassbeads-Glassbeads* (Kiri: $d = 6.35$ mm; Kanan: $d = 1.13$ mm) dengan *filling degree* 50% dan Kecepatan Putar (a) 1.77 rad/s; (b) 1.10 rad/s; (c) 0.59 rad/s

Efek perbedaan ukuran partikel pada dinamika partikel partikel pada simulasi ini diuji dengan ukuran yang tidak sama antara *glassbeads* 1 dan *glassbeads* 2 tetapi memiliki densitas yang sama. Ukuran partikel *glassbeads* pertama memiliki ukuran lebih besar yaitu 6.35 mm dan lainnya 1.13 mm. Densitas yang dimiliki antara *glassbeads* 1 dan 2 sama yaitu 2460 kg/m³. Kondisi awal pada sistem ini yaitu *glassbeads* 1 dan *glassbeads* 2 sama-sama memiliki fraksi volume sebesar 25% dan sisanya adalah udara.

Pada **Gambar IV.4 (a)** dapat dilihat bahwa *glassbeads* 1 dan *glassbeads* 2 terjadi segregasi antar kedua partikel. Kecepatan 0.59 rad/s memberikan efek pengadukan yang menyebabkan persebaran partikel lebih besar berada di posisi bawah dan mendominasi dalam drum. Dilain hal pada *glassbeads* yang memiliki ukuran diameter lebih kecil tersebar secara tidak merata dan lebih mendominasi pada bagian tengah drum. Dimana partikel *glassbeads* 2 masih berada diposisi *side loading* bagian kanan *rotary drum*. Persebaran ini terjadi karena adanya *stress tensor* yang dimana merupakan gaya regangan antara bagian pada material. *Stress tensor* memberikan friksi yang berlawanan antara material *glassbeads* 1 dengan *glassbeads* 2 dengan rumus:

$$\tau_d = \alpha_d \mu_d (\nabla v_d + \nabla v_d^T) + \alpha_d (\lambda_d - 0,67 \mu_d) \nabla v_d$$

Dimana:

τ_d : *stress tensor* fase solid [Pa]; α_d : fraksi volume fase solid [-]

μ_d : viskositas solid [kgm⁻¹s⁻¹]; λ_d : solid bulk viscosity [kg.m⁻¹s⁻¹]

v_d : vector kecepatan fase solid [m.s⁻¹]

dan viskositas solid didefinisikan sebagai:

$$\mu_d = \sum_{k=1}^2 P_d \frac{d_d}{5} [\theta_d + (m_k/m_d)\theta_k] \sqrt{\frac{2}{\pi\theta_d\theta_k(\theta_d + (m_k/m_d)^2\theta_k)}} + \frac{2\mu_d}{\frac{1}{2}\sum_{k=1}^2 (1+e_k)} (1 + \frac{4}{5}\sum_{k=1}^2 \alpha_k (1+e_k))$$

Dimana: m_d : massa partikel [kg]; d_d : diameter partikel [m]

μ_d : viskositas solid [kg m⁻¹ s⁻¹]; θ_d : temperatur partikel [m² s⁻²]

m_k : massa partikel (k = *glassbeads* 1, *glassbeads* 2) [kg]

Sehingga pada nilai densitas yang sama, tetapi berbeda diameter memberikan nilai viskositas yang lebih besar pada

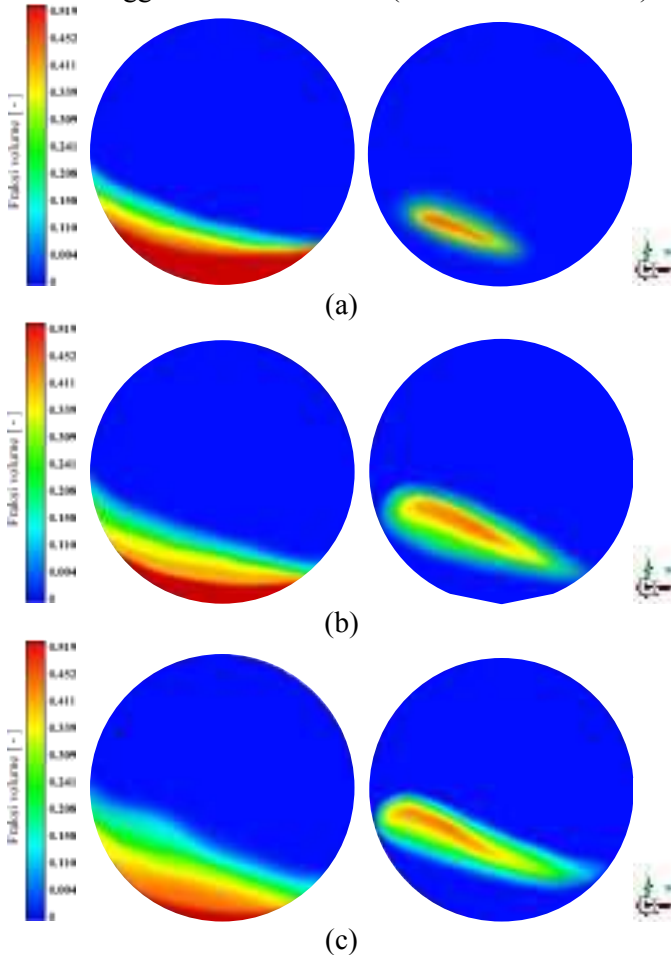
glassbeads dengan diameter lebih besar (6,35 mm) sehingga otomatis memberikan *stress tensor* yang lebih besar. Maka partikel *glassbeads* 1 yang berdiameter 6,35 mm dengan *stress tensor* yang lebih besar akan memberikan friksi yang besar sehingga ketika bertumbukan dengan partikel *glassbeads* 2 yang memiliki friksi yang lebih kecil menyebabkan partikel *glassbeads* 2 akan naik dari dasar *rotary drum* menuju ke bagian tengah *rotary drum*. Pada proses ini terjadi aliran *rolling regime* karena nilai $Fr = 0,0038$ (*Rolling regime* berada pada Fr dengan range 0,001-1)

Kecepatan putar sebesar 1,10 rad/s pada hasil simulasi menunjukkan kontur terjadinya segregasi yang jelas pada partikel *glassbeads* 1 dan *glassbeads* 2. Pada partikel *glassbeads* yang berukuran besar menempati pada bagian bawah drum, sedangkan *glassbeads* dengan ukuran lebih kecil menempati bagian tengah dari *rotary drum*. Pada kecepatan ini, partikel-partikel dengan diameter lebih kecil lebih berkonsentrasi ke bagian tengah drum, dimana bagian dasar dari drum sudah dipenuhi oleh partikel dengan ukuran lebih besar. Hal ini sesuai seperti penjelasan pada variabel 0,59 rad/s. Pada proses ini terjadi *rolling regime* karena nilai $Fr = 0,0133$ (*Rolling regime* berada pada Fr dengan range 0,001-1)

Berdasarkan hasil simulasi dengan kecepatan putar 1,77 rad/s, kontur yang dihasilkan pada partikel berukuran lebih besar sudah menempati total pada bagian dasar dari drum, sedangkan partikel dengan ukuran kecil berpusat dibagian tengah dengan fraksi volume yang lebih kecil dibandingkan kecepatan sebelumnya. Kecepatan ini memberikan persebaran yang jelas bahwa partikel berukuran besar terbenam pada dasar *rotary drum* dan partikel berukuran lebih kecil berada ditengah drum. Hal ini sesuai seperti penjelasan pada variabel 0,59 rad/s. Pada proses ini terjadi *rolling regime* karena nilai $Fr = 0,0343$ (*Rolling regime* berada pada Fr dengan range 0,001-1)

Hasil simulasi pengaruh perbedaan diameter pada dinamika partikel ini sesuai dengan teori dan eksperimen yang pernah

dilakukan, dimana partikel yang lebih kecil akan berada di bagian tengah dari tempat bagian yang bergerak sementara partikel yang lebih besar tenggelam ke dasar drum (*Karunaratne, 2016*).



Gambar IV.5 Distribusi Partikel Sistem *Glassbeads-Glassbeads* (Kiri: $d = 6.35$ mm; Kanan: $d = 1.13$ mm) dengan *filling degree* 25% dan Kecepatan Putar (a) 1.77 rad/s; (b) 1.10 rad/s; (c) 0.59 rad/s

Kondisi awal pada sistem ini yaitu *glassbeads* 1 dan *glassbeads* 2 sama-sama memiliki fraksi volume sebesar 12,5% dan sisanya adalah udara. Pada **Gambar IV.5 (a)** dapat dilihat bahwa *glassbeads* 1 dan *glassbeads* 2 terjadi segregasi antar kedua partikel. Kecepatan 0.59 rad/s memberikan efek pengadukan yang menyebabkan persebaran partikel berukuran lebih besar berada di bagian bawah dan mendominasi dalam drum. Dilain hal pada *glassbeads* yang memiliki ukuran diameter lebih kecil tersebar secara tidak merata pada bagian layer atas dari fraksi volum solid dalam *rotary drum*. Hal ini terjadi karena kecepatan *rotary drum* mampu mendistribusikan partikel antara beda ukuran diameter dari kondisi awal. Persebaran ini terjadi karena adanya *stress tensor* yang dimana merupakan gaya regangan antara bagian pada material. *Stress tensor* memberikan friksi yang berlawanan antara material *glassbeads* 1 dengan *glassbeads* 2 dengan rumus:

$$\tau_d = \alpha_d \mu_d (\nabla v_d + \nabla v_d^T) + \alpha_d (\lambda_d - 0,67 \mu_d) \nabla v_d$$

Dimana: τ_d : *stress tensor* fase solid [Pa]

α_d : fraksi volume fase solid [-]

μ_d : viskositas solid [$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$]

v_d : vector kecepatan fase solid [m.s^{-1}]

λ_d : solid bulk viscosity [$\text{kg.m}^{-1} \text{s}^{-1}$]

dan viskositas solid didefinisikan sebagai:

$$\mu_d = \sum_{k=1}^2 P_d \frac{d_d}{5} [\theta_d + (m_k/m_d)\theta_k] \sqrt{\frac{2}{\pi\theta_d\theta_k(\theta_d + (m_k/m_d)^2\theta_k)}} + \frac{2\mu_d}{2 \sum_{k=1}^2 (1+e_d)} (1 +$$

$$\frac{4}{5} \sum_{k=1}^2 \alpha_k (1+e_k))$$

Dimana: μ_d : viskositas solid [$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$]

θ_d : temperatur partikel [$\text{m}^2 \text{s}^{-2}$]

m_k : massa partikel ($k = \text{glassbeads 1, glassbeads 2}$) [kg]

m_d : massa partikel [kg]

d_d : diameter partikel [m]

Sehingga pada nilai densitas yang sama, tetapi berbeda diameter memberikan nilai viskositas yang lebih besar pada *glassbeads* dengan diameter lebih besar (6,35 mm) sehingga otomatis memberikan *stress tensor* lebih besar. Maka *glassbeads*

1 berdiameter 6,35 mm dengan *stress tensor* yang lebih besar akan memberikan friksi yang besar sehingga ketika bertumbukan dengan *glassbeads* 2 yang memiliki friksi yang lebih kecil menyebabkan *glassbeads* 2 akan naik dari dasar *rotary drum* menuju ke bagian tengah *rotary drum*. Pada proses ini terjadi aliran *rolling regime* karena nilai $Fr = 0,0038$ (*Rolling regime* berada pada Fr dengan *range* 0,001-1)

Kecepatan putar sebesar 1,10 rad/s pada hasil simulasi menunjukkan kontur terjadinya segregasi yang jelas pada partikel *glassbeads* 1 dan *glassbeads* 2. Pada partikel *glassbeads* yang berukuran lebih besar menempati bagian dasar drum, sedangkan *glassbeads* dengan ukuran lebih kecil menempati bagian tengah dari *rotary drum* dengan konsentrasi lebih memadat ke bagian tengah. Hal ini sesuai seperti penjelasan pada variabel 0,59 rad/s. Pada proses ini terjadi *rolling regime* karena nilai $Fr = 0,0133$ (*Rolling regime* berada pada Fr dengan *range* 0,001-1)

Berdasarkan hasil simulasi dengan kecepatan putar 1,77 rad/s, kontur yang dihasilkan pada partikel berukuran lebih besar mendominasi pada bagian dasar dari drum, sedangkan partikel dengan ukuran kecil berada di bagian tengah *rotary drum* dengan fraksi volume sangat kecil pada bagian tersebut. Kecepatan ini memberikan persebaran yang jelas bahwa partikel berukuran besar akan terbenam pada dasar *mixer* dan partikel berukuran lebih kecil berada di tengah. Hal ini sesuai seperti penjelasan pada variabel 0,59 rad/s. Pada proses ini terjadi *rolling regime* karena nilai $Fr = 0,343$ (*Rolling regime* berada pada Fr dengan *range* 0,001-1)

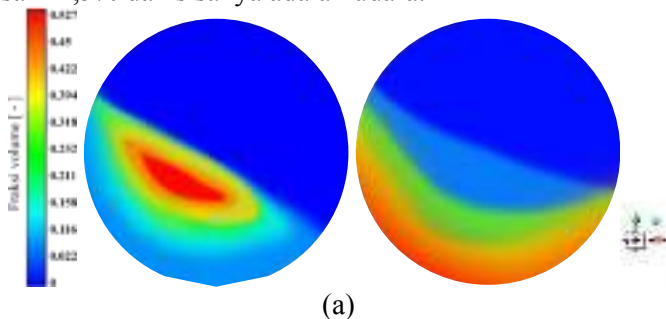
Dari kontur dapat diketahui bahwa setelah simulasi selama 150 detik, *glassbeads* 2 yang berdiameter lebih kecil dibandingkan *glassbeads* 1 cenderung berkonsentrasi di bagian tengah, sementara *glassbeads* 1 yang berdiameter lebih besar berada dibagian bawah *mixer* dan *glassbeads* 2 berada di tengah. Hal ini dapat dilihat dari kontur **Gambar IV.4.** (a), (b), (c) dan juga **Gambar IV.5.** (a), (b), dan (c) (Santos, 2016)

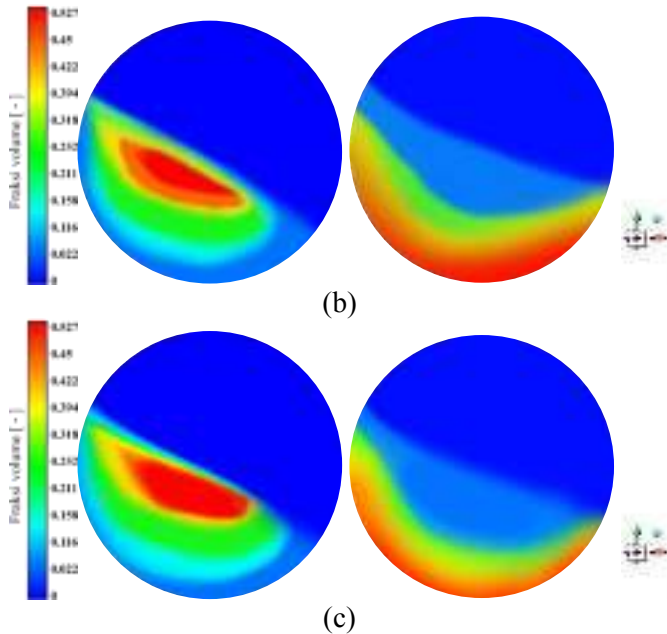
Seiring dengan kecepatan putar dari *rotary drum* yang semakin meningkat dari 0.59 rad/s menuju 1.77 rad/s, fraksi dari *glassbeads* 2 yang memiliki diameter lebih kecil di bagian tengah semakin menurun. Berdasarkan penelitian oleh Jha (2008) parameter yang mendominasi pada dinamika partikel terutama pada segregasi adalah perbedaan ukuran partikel yang menyebabkan persebaran partikel terjadi dalam *rotary drum mixer*.

IV.3 Pengaruh Perbedaan Densitas terhadap Distribusi Partikel dalam *Rotary Drum Mixer*

Konfigurasi M3 pada simulasi yang dilakukan terdiri atas *glassbeads* dan *soybean*. Pada *glassbeads*, diameter yang digunakan 6.35 mm dengan densitas 2460 kg/m³ sementara *soybean* berukuran 6.39 mm dengan densitas 1164 kg/m³.

Pengaruh variasi pada densitas partikel ini ditinjau dari pengamatan kontur pada **Gambar IV.6.** untuk simulasi dengan *filling degree* sebesar 50% dan **Gambar IV.7.** untuk *filling degree* sebesar 25%. Kondisi awal pada sistem ini yaitu untuk *filling degree* 50%, *glassbeads* dan *soybean* memiliki fraksi volume sebesar 25% dan sisanya adalah udara, *filling degree* 25%, *glassbeads* dan *soybean* sama-sama memiliki fraksi volume sebesar 12,5% dan sisanya adalah udara.





Gambar IV.6 Distribusi Partikel Sistem *Glassbeads-Soybean* (Kiri: $\rho = 2460 \text{ kg/m}^3$; Kanan: $d = \rho = 1164 \text{ kg/m}^3$) dengan *filling degree* 50% dan Kecepatan Putar (a) 1.77 rad/s; (b) 1.10 rad/s; (c) 0.59 rad/s

Pada **Gambar IV.6 (a)** dapat dilihat bahwa *glassbeads* dan *soybean* terjadi segregasi antar kedua partikel. Kecepatan 0,59 rad/s memberikan efek pengadukan yang menyebabkan persebaran *glassbeads* atau partikel lebih padat berada di posisi tengah dan mendominasi dalam drum. Sedangkan pada *soybean* atau partikel yang kurang padat menyebar mengelilingi *soybean*. Hal ini terjadi karena kecepatan *rotary drum* belum cukup mampu mendistribusikan partikel secara baik dan merata pada kedua ukuran partikel didalamnya. Persebaran ini terjadi karena adanya *stress tensor* yang dimana merupakan gaya regangan antara bagian pada material. *Stress tensor* memberikan friksi yang

berlawanan antara material *glassbeads* dengan *soybean* dan didefinisikan dengan rumus:

$$\tau_d = \alpha_d \mu_d (\nabla v_d + \nabla v_d^T) + \alpha_d (\lambda_d - 0,67 \mu_d) \nabla v_d$$

Dimana: τ_d : *stress tensor* fase solid [Pa]

α_d : fraksi volume fase solid [-]

μ_d : viskositas solid [$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$]

v_d : vector kecepatan fase solid [m.s^{-1}]

λ_d : solid bulk viscosity [$\text{kg.m}^{-1} \text{s}^{-1}$]

dan viskositas solid didefinisikan sebagai:

$$\mu_d = \sum_{k=1}^2 P_d \frac{d_d}{5} [\theta_d + (m_k/m_d)\theta_k] \sqrt{\frac{2}{\pi\theta_d\theta_k(\theta_d + (m_k/m_d)^2\theta_k)}} + \frac{2\mu_d}{\frac{1}{2}\sum_{k=1}^2 (1+e_d)} (1 + \frac{4}{5} \sum_{k=1}^2 \alpha_k (1+e_k))$$

Dimana: μ_d : viskositas solid [$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$]

θ_d : temperatur partikel [$\text{m}^2 \text{s}^{-2}$]

m_k : massa partikel ($k = \text{glassbeads 1, glassbeads 2}$) [kg]

m_d : massa partikel [kg]

d_d : diameter partikel [m]

Sehingga pada nilai diameter partikel yang nyaris sama, tetapi berbeda densitas memberikan nilai viskositas yang lebih besar pada *glassbeads* dengan densitas lebih besar (2460kg/m^3) sehingga otomatis memberikan *stress tensor* lebih besar, tetapi nilai tersebut hanya berselisih sedikit dengan *soybean* yang memiliki densitas lebih kecil (1164kg/m^3). Maka *glassbeads* berdensitas 2460kg/m^3 dengan *stress tensor* yang sedikit lebih besar akan memberikan friksi yang lebih besar sehingga ketika bertumbukan dengan *soybean* yang memiliki friksi yang sedikit lebih kecil menyebabkan *glassbeads* dan *soybean* akan tersebar secara merata, tetapi pada hasil terlihat *glassbeads* terkonsentrasi di tengah karena posisi awalnya pada *side-side loading* lah yang menyebabkan *glassbeads* naik dari dasar *rotary drum* menuju ke bagian tengah *rotary drum*. Pada proses ini terjadi aliran *rolling regime* karena nilai $Fr = 0,0038$ (*Rolling regime* berada pada Fr dengan *range* 0,001-1)

Kecepatan putar sebesar 1,10 rad/s pada hasil simulasi menunjukkan kontur terjadinya segregasi yang kurang lebih sama

seperti pada kecepatan putar 0,59 rad/s pada partikel *glassbeads* dan *soybean*. Pada partikel *glassbeads* yang memiliki densitas besar menempati pada bagian bawah drum, sedangkan *soybean* dengan densitas lebih kecil menempati bagian tengah dari *rotary drum*. Hal ini sesuai seperti penjelasan pada variabel 0,59 rad/s. Pada proses ini terjadi *rolling regime* karena nilai $Fr = 0,0133$ (*Rolling regime* berada pada Fr dengan range 0,001-1)

Berdasarkan hasil simulasi dengan kecepatan putar 1,77 rad/s, kontur yang dihasilkan juga masih sama seperti pada kecepatan putar 0,59 dan 1,10 rad/s. Pada partikel dengan densitas lebih besar menempati pada bagian bawah drum, sedangkan *soybean* dengan ukuran lebih kecil menempati bagian tengah dari *rotary drum*. Hal ini sesuai seperti penjelasan pada variabel 0,59 rad/s. Pada proses ini terjadi *rolling regime* karena nilai $Fr = 0,0343$ (*Rolling regime* berada pada Fr dengan range 0,001-1)

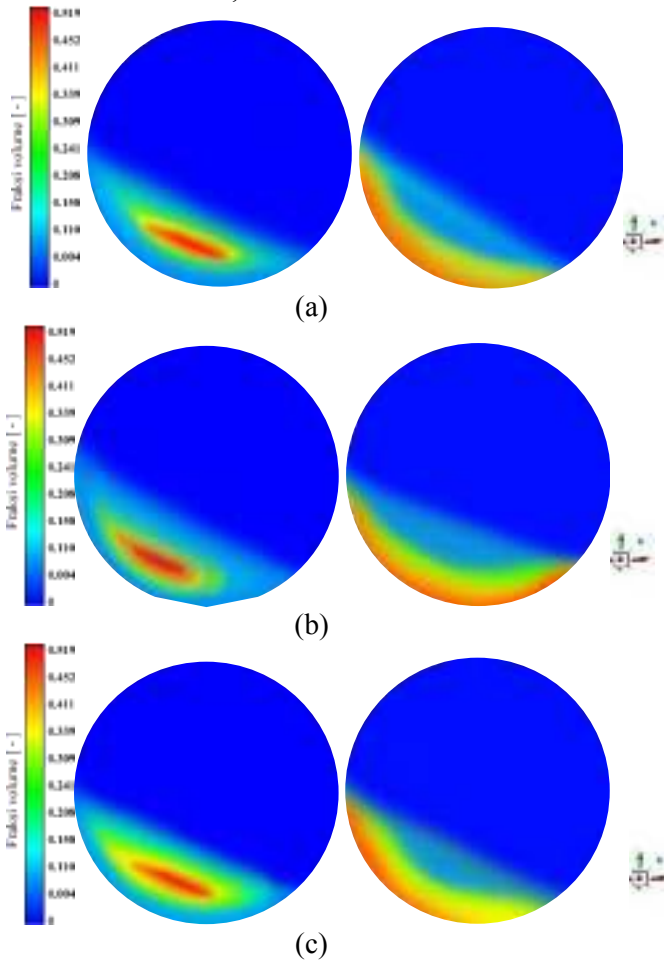
Selain itu, seiring dengan kecepatan putar dari *rotary drum* yang semakin meningkat dari 0,59 rad/s menuju 1,77 rad/s, distribusi yang terjadi antara *soybean* dengan *glassbeads* tidak jauh berbeda.

Berdasarkan pada penelitian Jha (2008) parameter yang mendominasi pada dinamika partikel terutama pada segregasi adalah perbedaan densitas partikel yang menyebabkan persebaran partikel terjadi dalam *rotary drum mixer*. Tetapi segregasi yang terjadi tidak begitu terlihat karena baik *glassbeads* maupun *soybean* tersebar secara merata.

Selain itu pada proses yang terjadi antara *glassbeads* dan *soybean*, partikel dengan densitas yang lebih besar hanya akan sedikit tenggelam pada dasar *rotary drum mixer*. Semakin besar perbandingan dari perbedaan densitas (M/m) maka segregasi akan terjadi (Ristow, 1994)

Menurut penelitian oleh Sanfratello (2008), perbandingan densitas dari bahan yang dapat menyebabkan adanya segregasi bernilai lebih besar dari 2,4 hingga 4,9, sedangkan pada simulasi

yang dilakukan perbandingan densitas antara *glassbeads* dengan *soybean* bernilai sebesar 2,11.



Gambar IV.7 Distribusi Partikel Sistem *Glassbeads-Soybean* (Kiri: $\rho = 2460 \text{ kg/m}^3$; Kanan: $d = \rho = 1164 \text{ kg/m}^3$) dengan *filling degree* 25% dan Kecepatan Putar (a) 1.77 rad/s; (b) 1.10 rad/s; (c) 0.59 rad/s

Pada **Gambar IV.7 (a)** dapat dilihat bahwa *glassbeads* dan *soybean* terjadi segregasi antar kedua partikel. Kecepatan 0,59 rad/s memberikan efek pengadukan yang menyebabkan persebaran *glassbeads* atau partikel lebih padat berada di posisi tengah dan mendominasi dalam drum. Sedangkan pada *soybean* atau partikel yang kurang padat menyebar mengelilingi *soybean*. Hal ini terjadi karena kecepatan *rotary drum* belum cukup mampu mendistribusikan partikel secara baik dan merata pada kedua ukuran partikel didalamnya. Persebaran ini terjadi karena adanya *stress tensor* yang dimana merupakan gaya regangan antara bagian pada material. *Stress tensor* memberikan friksi yang berlawanan antara material *glassbeads* dengan *soybean* dan didefinisikan dengan rumus:

$$\tau_d = \alpha_d \mu_d (\nabla v_d + \nabla v_d^T) + \alpha_d (\lambda_d - 0,67 \mu_d) \nabla v_d$$

Dimana: τ_d : *stress tensor* fase solid [Pa]

α_d : fraksi volume fase solid [-]

μ_d : viskositas solid [$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$]

v_d : vector kecepatan fase solid [m.s^{-1}]

λ_d : solid bulk viscosity [$\text{kg.m}^{-1} \text{s}^{-1}$]

dan viskositas solid didefinisikan sebagai:

$$\mu_d = \sum_{k=1}^2 P_d \frac{d_d}{5} [\theta_d + (m_k/m_d)\theta_k] \sqrt{\frac{2}{\pi\theta_d\theta_k(\theta_d + (m_k/m_d)^2\theta_k)}} + \frac{2\mu_d}{\frac{1}{2}\sum_{k=1}^2 (1+e_d)} (1 + \frac{4}{5}\sum_{k=1}^2 \alpha_k (1+e_k))$$

Dimana: μ_d : viskositas solid [$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$];

θ_d : temperatur partikel [$\text{m}^2 \text{s}^{-2}$]

m_k : massa partikel ($k = \text{glassbeads 1, glassbeads 2}$) [kg]

m_d : massa partikel [kg]

d_d : diameter partikel [m]

Sehingga pada nilai diameter partikel yang nyaris sama, tetapi berbeda densitas memberikan nilai viskositas yang lebih besar pada *glassbeads* dengan densitas lebih besar (2460kg/m^3) sehingga otomatis memberikan *stress tensor* lebih besar, tetapi nilai tersebut hanya berselisih sedikit dengan *soybean* yang memiliki densitas lebih kecil (1164kg/m^3). Maka *glassbeads*

berdensitas 2460 kg/m^3 dengan *stress tensor* yang sedikit lebih besar akan memberikan friksi yang lebih besar sehingga ketika bertumbukan dengan *soybean* yang memiliki friksi yang sedikit lebih kecil menyebabkan *glassbeads* dan *soybean* akan tersebar secara merata, tetapi pada hasil terlihat *glassbeads* terkonsentrasi di tengah karena posisi awalnya pada *side-side loading* lah yang menyebabkan *glassbeads* naik dari dasar *rotary drum* menuju ke bagian tengah *rotary drum*. Pada proses ini terjadi aliran *rolling regime* karena nilai $Fr = 0,0038$ (*Rolling regime* berada pada Fr dengan *range* 0,001-1)

Kecepatan putar sebesar 1,10 rad/s pada hasil simulasi menunjukkan kontur terjadinya segregasi yang kurang lebih sama seperti pada kecepatan putar 0,59 rad/s pada partikel *glassbeads* dan *soybean*. Pada partikel *glassbeads* yang memiliki densitas besar menempati pada bagian tengah drum, sedangkan *soybean* dengan densitas lebih kecil mengelilingi bagian yang dipenuhi oleh *glassbeads* *rotary drum*. Hal ini sesuai seperti penjelasan pada variabel 0,59 rad/s. Pada proses ini terjadi *rolling regime* karena nilai $Fr = 0,0133$ (*Rolling regime* berada pada Fr dengan *range* 0,001-1)

Berdasarkan hasil simulasi dengan kecepatan putar 1,77 rad/s, kontur yang dihasilkan juga masih sama seperti pada kecepatan putar 0,59 dan 1,10 rad/s. Pada partikel dengan densitas lebih besar menempati pada tengah bawah drum, sedangkan *soybean* dengan ukuran lebih kecil mengelilingi bagian yang dipenuhi oleh *glassbeads* pada *rotary drum*. Hal ini sesuai seperti penjelasan pada variabel 0,59 rad/s. Pada proses ini terjadi *rolling regime* karena nilai $Fr = 0,0343$ (*Rolling regime* berada pada Fr dengan *range* 0,001-1)

Selain itu, seiring dengan kecepatan putar dari *rotary drum* yang semakin meningkat dari 0,59 rad/s menuju 1,77 rad/s, distribusi yang terjadi antara *soybean* dengan *glassbeads* tidak jauh berbeda. Berdasarkan pada penelitian Jha (2008), parameter yang mendominasi pada dinamika partikel terutama pada segregasi adalah perbedaan densitas partikel yang menyebabkan

persebaran partikel terjadi dalam *rotary drum mixer*. Tetapi segregasi yang terjadi tidak begitu terlihat karena baik *glassbeads* maupun *soybean* tersebar secara merata.

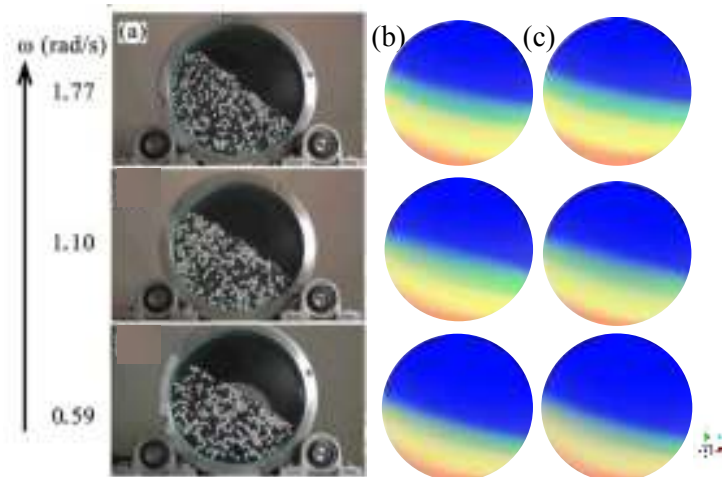
Selain itu pada proses yang terjadi antara *glassbeads* dan *soybean*, partikel dengan densitas yang lebih besar hanya akan sedikit tenggelam pada dasar *rotary drum mixer*. Semakin besar perbandingan dari perbedaan densitas (M/m) maka segregasi akan terjadi (Ristow, 1994).

Menurut penelitian oleh Sanfratello, 2008, perbandingan densitas dari bahan yang dapat menyebabkan adanya segregasi bernilai lebih besar dari 2,4 hingga 4,9, sedangkan pada simulasi yang dilakukan perbandingan densitas antara *glassbeads* dengan *soybean* bernilai sebesar 2,11. Dari kontur tersebut dapat diketahui bahwa setelah simulasi selama 150 detik, *glassbeads* berdensitas lebih besar dibandingkan *soybean* cenderung berkonsentrasi di bagian tengah dan *soybean* dengan densitas lebih kecil lebih menyebar dan mengelilingi *glassbeads* di tengah. Hal ini bisa dilihat dari kontur gambar **Gambar IV.6.** (a), (b) dan (c) serta **Gambar IV.7.** (a), (b), dan (c) (Santos, 2016).

IV.4 Validasi Hasil Simulasi dengan Eksperimen

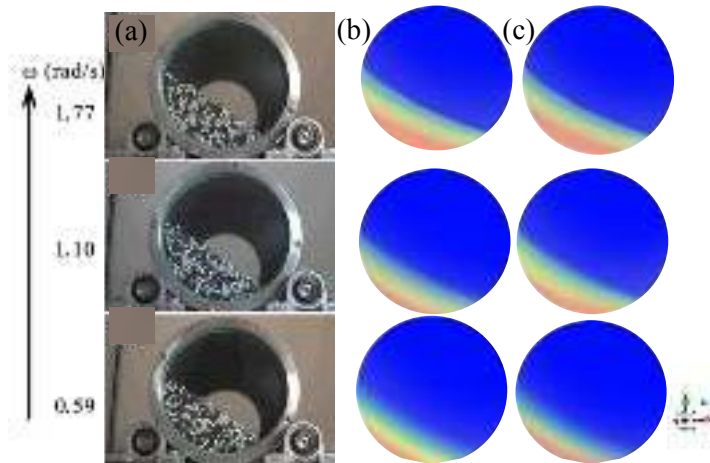
Hasil simulasi menggunakan komputasi dinamika fluida (KDF) menggunakan pendekatan – pendekatan secara teoritis sehingga tidak diketahui kebenarannya jika diaplikasikan secara nyata. Oleh karena itu, dalam penelitian ini perlu dilakukan validasi terhadap hasil simulasi yang telah dilakukan untuk membuktikan bahwa simulasi menggunakan komputasi dinamika fluida ini benar. Hasil eksperimen yang digunakan untuk validasi merupakan hasil eksperimen dari fenomena segregasi pada rotary drum oleh Santos *et al* (2016).

Hasil eksperimen dilakukan dengan rotary drum yang terbuat dari *stainless steel* dengan bagian depan drum terbuat dari kaca transparan. Selain itu digunakan pula Kamera JVC Full HD-1080p yang diletakkan di depan rotary drum dengan *frame rate* sebesar 30 fps (*frame per second*)



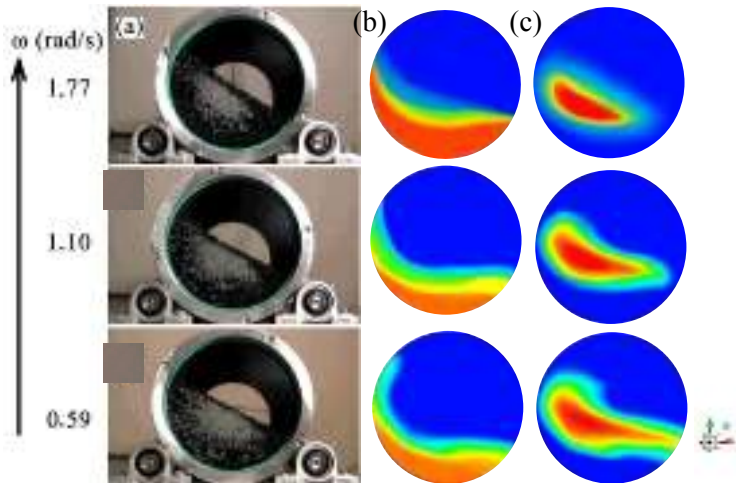
Gambar IV.8 Validasi Eksperimen dengan Simulasi pada Sistem *Glassbeads-Glassbeads* Monodisperse dengan *filling degree* 50%
 (a) Hasil Eksperimen (Hitam = *Glassbeads*; Putih = *Glassbeads*);
 (b) Distribusi Partikel *Glassbeads* hitam; (c) Distribusi Partikel *Glassbeads* putih

Dari **Gambar IV.8**, menunjukkan bahwa distribusi partikel hasil simulasi (b) dan (c) sesuai dengan eksperimen dimana pada sistem monodisperse ini kedua jenis *glassbeads* dengan diameter dan densitas yang sama saling tersebar rata.



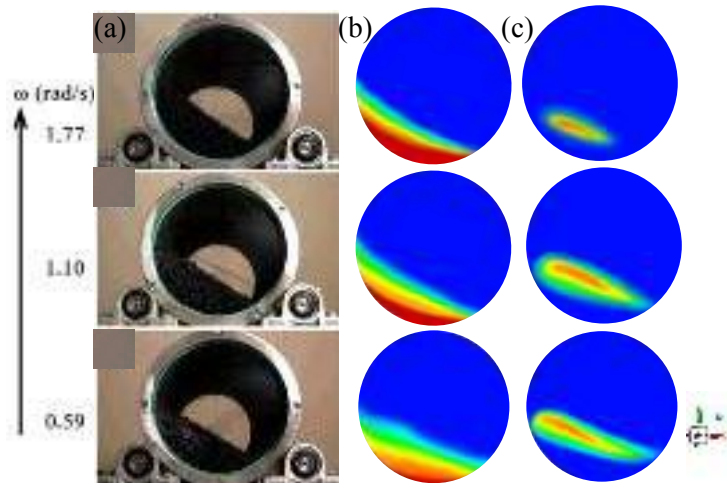
Gambar IV.9 Validasi Eksperimen dengan Simulasi pada Sistem *Glassbeads-Glassbeads* Monodisperse dengan *filling degree* 25% (a) Hasil Eksperimen (Hitam = *Glassbeads*; Putih = *Glassbeads*); (b) Distribusi Partikel *Glassbeads* hitam; (c) Distribusi Partikel *Glassbeads* putih

Dari **Gambar IV.9**, menunjukkan bahwa distribusi partikel hasil simulasi (b) dan (c) sesuai dengan eksperimen dimana pada sistem monodisperse ini kedua jenis *glassbeads* dengan diameter dan densitas yang sama saling tersebar rata.



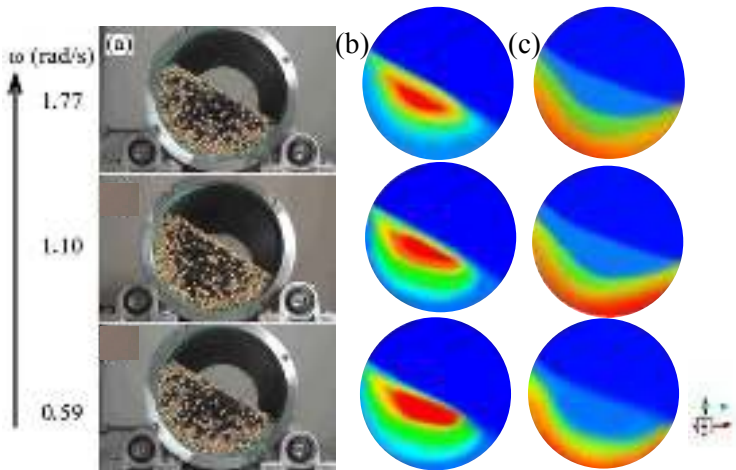
Gambar IV.10 Validasi Eksperimen dengan Simulasi pada Sistem *Glassbeads-Glassbeads* dengan *filling degree* 50% (a) Hasil Eksperimen (Hitam: *Glassbeads* $d = 6.35$ mm; Putih: *Glassbeads* $d = 1.13$ mm); (b) Distribusi Partikel *Glassbeads* $d = 6.35$ mm; (c) Distribusi Partikel *Glassbeads* $d = 1.13$ mm

Dari **Gambar IV.10**, menunjukkan bahwa distribusi partikel hasil simulasi (b) dan (c) sesuai dengan eksperimen dimana pada sistem ini *glassbeads* dengan diameter lebih besar berada di bagian bawah *rotary drum* sementara dan *glassbeads* dengan diameter lebih kecil berada dibagian tengah atas. Meskipun terjadi sedikit perbedaan distribusi pada *rotary drum*.



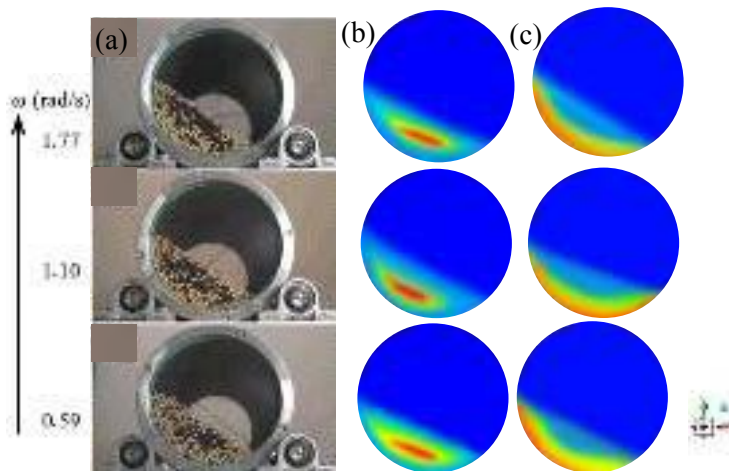
Gambar IV.11 Validasi Eksperimen dengan Simulasi pada Sistem *Glassbeads-Glassbeads* dengan *filling degree* 25% (a) Hasil Eksperimen (Hitam: *Glassbeads* $d = 6.35$ mm; Putih: *Glassbeads* $d = 1.13$ mm); (b) Distribusi Partikel *Glassbeads* $d = 6.35$ mm; (c) Distribusi Partikel *Glassbeads* $d = 1.13$ mm

Dari **Gambar IV.11**, menunjukkan bahwa distribusi partikel hasil simulasi (b) dan (c) sesuai dengan eksperimen dimana pada sistem ini *glassbeads* dengan diameter lebih besar berada di bagian bawah *rotary drum* sementara dan *glassbeads* dengan diameter lebih kecil berada dibagian tengah atas. Meskipun terjadi sedikit perbedaan dari distribusi pada *rotary drum*.



Gambar IV.12 Validasi Eksperimen dengan Simulasi pada Sistem *Glassbeads-Soybean* dengan *filling degree* 50% (a) Hasil Eksperimen (Hitam: *Glassbeads*; Kuning: *Soybean*); (b) Distribusi Partikel *Glassbeads*; (c) Distribusi Partikel *Soybean*

Dari **Gambar IV.12**, menunjukkan bahwa distribusi partikel hasil simulasi (b) dan (c) cukup sesuai dengan eksperimen dimana pada sistem ini *glassbeads* dengan densitas lebih besar berada di bagian tengah *rotary drum* sementara dan *soybean* dengan diameter lebih kecil berada dibagian kiri dan kanan mengelilingi partikel *glassbeads*. Meskipun terjadi sedikit perbedaan dari komposisi *soybean* yang terlihat sedikit saat simulasi *rotary drum*.



Gambar IV.13 Validasi Eksperimen dengan Simulasi pada Sistem *Glassbeads-Soybean* dengan *filling degree* 25% (a) Hasil Eksperimen (Hitam: *Glassbeads*; Kuning: *Soybean*); (b) Distribusi Partikel *Glassbeads*; (c) Distribusi Partikel *Soybean*

Dari **Gambar IV.13**, menunjukkan bahwa distribusi partikel hasil simulasi (b) dan (c) cukup sesuai dengan eksperimen dimana pada sistem ini *glassbeads* dengan densitas lebih besar berada terkonsentrasi di bagian tengah *rotary drum* sementara dan *soybean* dengan diameter lebih kecil berada dibagian kiri dan kanan mengelilingi partikel *glassbeads*. Meskipun terjadi sedikit perbedaan dari komposisi *glassbeads* – *soybean* yang terlihat lebih banyak saat simulasi *rotary drum*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dalam simulasi dan hasil pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Hasil pengaruh ukuran diameter terhadap dinamika partikel menunjukkan bahwa pada partikel dengan diameter berukuran lebih besar akan mengalami pengadukan dan cenderung menempati bagian dasar dari *rotary drum mixer*, sedangkan partikel dengan ukuran lebih kecil pada *rotary drum mixer* akan bercampur dan cenderung menempati bagian tengah *rotary drum mixer*.
2. Hasil pengaruh densitas terhadap dinamika partikel memberikan hasil ratio densitas 2.11 yang menunjukkan pengaruh yang kurang signifikan terhadap dinamika partikel dalam *rotary drum mixer*.

V.2 Saran

Saran yang bisa diberikan untuk simulasi tentang distribusi partikel dalam *rotary drum mixer* mendatang adalah :

1. Melakukan simulasi dengan lebih teliti untuk setiap melakukan *input* di bagian *set up* dan pada bagian *solution*.
2. Melakukan simulasi dengan penggunaan ukuran partikel, densitas, dan kecepatan putar lebih bervariasi sehingga didapatkan hasil dari proses pencampuran yang lebih valid dalam skala industri dari pengadukan dalam *rotary drum mixer*.
3. Memiliki validasi model simulasi tidak hanya dari jurnal penelitian namun juga dari kondisi nyata di lapangan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Delele, M. A., Weigler, F., Franker, G., Mellmann, J. (2016). Studying the solids and fluid flow behavior in rotary drum based on a multiphase CFD model. *Powder Technology* 292. 260-271. <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2016.01.026>
- Dissanayake, Susantha., Karunarathne, Sumudu S., ..., Tokheim, Lars-Andre. (2017). CFD Study of Particle Flow Pattern in Rotating Cylinder Applying OpenFOAM and Fluent. *Proceedings of the 58th SIMS*. DOI: 10.3384/ecp17138137
- Doucet, Jocelyn., Hudon, Nicolas., Bertrand, Francois., Chaouki, Jamal. (2007). Modelling of the mixing of monodisperse particles using a stationary DEM-based Markov process. *Computers and Chemical Engineering* 32, 1334-1341. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2007.06.017>
- Haque, Ekramul. (2011). Void fraction as a function of depth and pressure drops of packed beds of porous media formed by granular materials. *American Society of Agricultural and Biological Engineers Vol. 54*, 2239-2243. ISSN 2151-0032
- Karunaratne, Sumudu S., Jayarathna, Chameera K., Tokheim, Lars-Andre. (2016). Impact of Particle Diameter, Particle Density, and Degree of Filling on the Flow Behavior of Solid Particle Mixtures in a Rotating Drum. *Eurosim Journal*, 1-6. DOI: 10.1109/EUROSIM.2016.82
- Karunaratne, Sumudu S., Jayarathna, Chameera K., Tokheim, Lars-Andre. (2017). Mixing and Segregation in a Rotating Cylinder: CFD Simulation and Experimental Study. *International Journal of Modeling and Optimization Vol.7 No. 1*, 1-6. DOI: 10.7763/IJMO.2017.V7.548
- Kumar, A., Gernaey, Krist V., Beer, Thomas De., Nopens, Ingmar., (2013). Model-based analysis of high shear wet granulation from batch to continuous processes in pharmaceutical production – A critical review. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics* 85, 814-832. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpb.2013.09.013>

- Mardani, Ahmad., Subekti, Agus., Laksana, Wijaya. (2012). Pengenalan Proses Bisnis bagi Calon Karyawan Pupuk Kaltim. Bontang.
- Ottino, J. M., Kharkhar, D. V. (2000). Mixing and Segregation of Granular Materials. *Annual Rev. Fluid Mech* 32, 55-91.
- Resende, Isabela A., Machado, Marcela V. C., Duarte, Claudio R., Barrozo, Marcos A. S. (2017). An Experimental Analysis of Coffee Beans Dynamics in A Rotary Drum. *The Canadian Journal of Chemical Engineering Vol* 9999, 1-10. DOI 10.1002/cjce.22961
- Ristow, G. H. (1994). Particle Mass Segregation in a Two-Dimensional Rotating Drum. *Europhysics Letters* 28, 97-101
- Rodrigues, Rafaella F., Leite, Sergio R., Santos D. A., Barrozo, M. A. S. (2017). Drum granulation of single super phosphate fertilizer effect of process variables and optimization. *Powder Technology Journal*. 1-28. <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2017.08.036>
- Sanfrantello, Lori., Fukushima, Eiichi. (2008). Experimental studies of density segregation in the 3D rotating cylinder and the absence of banding. *Granular Matter* 11, 73-78. DOI 10.1007/s10035-008-0121-3
- Santos, D. A., Duarte, C. R., Barrozo, M. A. S. (2016). Segregation phenomenon in a rotary drum: Experimental Study and CFD simulation. *Powder Technology Journal* (294), 1-10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2016.02.0150032-5910>
- Tan, Yu., Zhu, Xun., He, Xian-Yan., Ding, Bin., Wang, Hong., ... Li, Hua. (2017). Granulation characteristics of molten blast furnace slag by hybrid centrifugal-air blast technique. *Powder Technology*, 1-33. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.09.040>
- Walker, Gavin M. (2017). Drum Granulation Processes. United Kingdom: Queen's University Belfast Enterprise
- Wang, Fu Yang., Cameron, Ian T. (2002). Review and future directions in the modelling and control of continuous drum

- granulation. *Powder Technology*, 124, 238-253.
www.elsevier.com/locate/powtec
- Zheng, Q. J., Yu, A. B. (2015). Modelling the granular flow in a rotating drum by the Eulerian finite element method. *Powder Technology* 286, 361-370.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2015.08.025>

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan	Satuan
f	<i>Filling Degree</i>	%
d	Diameter Partikel	mm
ρ	Densitas Partikel	kg/m ³
ω	Kecepatan Putar	rad/s
v_0	Vektor kecepatan fluida	m/s
v_d	Vektor kecepatan fase solid	m/s
α_0	Fraksi volume fluida	-
α_d	Fraksi volume fase solid	-
ρ_0	Densitas fluida	kg/m ³
ρ_d	Densitas fase solid	kg/m ³
p_0	Tekanan	Pa
p_d	Tekanan fase solid	Pa
μ_0	Viskositas fluida	kg/ms
μ_d	Viskositas fase solid	kg/ms
λ_d	Bulk viskositas fase solid	kg/ms
e_{dd}	Koefisien restitusi fase solid	-
d_d	Diameter partikel	M
$k_{\theta d}$	Koefisien difusi energi	-
$\gamma_{\theta d}$	Energi disipasi ketika bertumbuk	kg/ms ³
ϕ_{0d}	Perpindahan energi antara fluida dengan fase solid	-

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Ichsan Dwi Nugraha, lahir di Bandung, 29 April 1996. Penulis menempuh pendidikan formal yang dimulai di SD Negeri Papandayan I Bogor (2002-2008), dilanjutkan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 5 Bogor (2008-2011), kemudian pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Bogor (2011-2014), kemudian dilanjutkan menempuh studi jenjang perguruan tinggi di S1 Teknik Kimia ITS Surabaya (2014-2018).

Selama kuliah, penulis aktif dan mempelopori berdirinya *Student Chapter* yaitu AICHe ITS SC sebagai President of AICHe ITS SC periode 2017/2018. Penulis melaksanakan Kerja Praktek di VICO Indonesia L.L.C. Muara Badak, Kalimantan Timur. Pada tahun terakhir studi, penulis memilih Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran untuk menyelesaikan tugas akhir dan skripsi. Bersama partner dan dibawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng. dan Suci Madhania, S.T., M.T., penulis berhasil menyelesaikan Pra-Desain Pabrik Gula Kristal Putih dengan Proses Karbonatasi. Pada semester akhir, penulis mengerjakan skripsi berjudul “*Simulasi Dinamika Partikel dalam Rotary Drum Mixer berbasis Komputasi Dinamika Fluida (KDF)*” yang dibimbing oleh Dr. Tantular Nurtono, S.T., M.Eng. dan Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng.

DATA PRIBADI PENULIS

Phone : +6281382238001

Email : ichsandwinugraha@gmail.com

Line : @ichsandwin

BIODATA PENULIS



M. Reinaldo Ongky Billy Anando lahir di Denpasar, 30 April 1996. Penulis menempuh pendidikan formal yang dimulai di SD Negeri No. 6 Dauh Puri Denpasar (2001-2004) dan SD Negeri Wedoro 1 (2004-2007), dilanjutkan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 1 Waru (2007-2010), dilanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 7 Surabaya (2010-2013), kemudian dilanjutkan menempuh studi jenjang perguruan tinggi di S1 Teknik Kimia ITS Surabaya (2014-2018). Selama kuliah, penulis aktif dalam berorganisasi di HIMATEKK FTI-ITS sebagai Head of Education and Student Prosperity (ESP) pada kepengurusan HIMATEKK Semangat Berintegrasi 2016/2017. Pada tahun 2017, penulis melaksanakan Kerja Praktek di VICO Indonesia L.L.C. Muara Badak, Kalimantan Timur. Pada tahun terakhir studi, penulis memilih Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran untuk menyelesaikan tugas akhir dan skripsi. Bersama partner dan dibawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng. dan Suci Madhania, S.T., M.T., penulis berhasil menyelesaikan Pra-Desain Pabrik Gula Kristal Putih dengan Proses Karbonatasi. Pada semester akhir, penulis mengerjakan skripsi berjudul “*Simulasi Dinamika Partikel dalam Rotary Drum Mixer berbasis Komputasi Dinamika Fluida (KDF)*” yang dibimbing oleh Dr. Tantular Nurtono, S.T., M.Eng. dan Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng.

DATA PRIBADI PENULIS

Phone : +6281232331249 / +628113399839

Email : reinaldoongky95@gmail.com

Line : @reinaldoongky